

ROBOTTISOLU

KAPPALEENKÄSITTELYYN

Sandvik Mining and Construction Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ala

Kone- ja tuotantotekniikka

Mekatroniikka

Opinnäytetyö

2011

Toni Lumpov

Simo Manninen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

LUMPOV TONI, MANNINEN SIMO: Robottisolu kappaleenkäsittelyyn
Sandvik Mining and Construction Oy

Mekatroniikan opinnäytetyö, 49 sivua, 8 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

SMC:n Lahden tehtaalla lämpökäsiteltävien hydraulivasaran terien kappaleenkäsittely tehdään nykyisin käsipanosteisesti ja nostimia hyödyntäen. Tässä työssä tutkittavan automatisoinnin on tarkoitus parantaa työturvallisuutta, helpottaa raskaita työvaiheita sekä vapauttaa ihmiset yksinkertaisesta vaihetyöstä vaativiin prosessin ja laadun valvontatyöhön.

Työssä selvitettiin, miten terien asettaminen panostelineisiin ja niistä purkaminen voidaan toteuttaa robotilla. Teriä on useita erilaisia, mutta muodoltaan ne ovat samankaltaisia. Suurin yksittäinen muuttuja on terän paino, joka vaihtelee 3,8 ja 380 kg:n välillä. Panosteline terineen voi painaa enimmillään 2000 kg.

Työssä otettiin myös huomioon, miten lämpökäsittely vaikuttaa panostelineisiin, ja miten panostelineiden muodonmuutokset vaikuttavat robotin toimintaan. Panostelineet suunniteltiin uudelleen automaattiseen kappaleen käsittelyyn sopiviksi. Telineet mallinnettiin ja niistä piirrettiin työpiirustukset valmistusta varten.

Osana työtä oli toimivan lay-outin sekä teriä käsittelevän tarraimen suunnittelu. Työhön kuului myös tarjousten pyytäminen robottitoimittajilta, sekä niiden vertailu keskenään. Lopullinen tuotos oli investointilaskelman teko työn tilaajalle.

Avainsanat: Robottisolu, Kappaleenkäsittely, Panosteline, Tarrain, Investointilaskenta

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

LUMPOV TONI, MANNINEN SIMO: Robot cell for material handling
Sandvik Mining and Construction Oy

Bachelor's Thesis in Mechatronics

49 pages, 8 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

Currently, at the SMC Lahti factory, hydraulic hammer tools that are going to heat treatment, are processed manually. The purpose of automation, which is researched in this thesis, is to improve work safety, ease heavy work stages and release human resources from simple work stages to surveying of the process and quality control.

This thesis studied if it is possible to process these tools with an industrial robot. There are lots of different tools, but their profile is almost the same. The biggest single changing factor is weight, ranging between 3.8 and 380 kilos. A Rack with tools can weigh up to 2000 kilos.

It was also considered, how heat treatment would affect the racks, and how metamorphosis would affect the operation of the robot. In practice, racks needed to be redesigned in such a way that they would work in automation. Technical drawings of the racks for their production were also made.

One important part of the thesis was designing a functional layout and designing the gripper which will handle the tools. Offers from robot suppliers were required and compared with each other. As the final output of this thesis, investment calculations for the company were made.

Key words: Robot cell, Material handling, Gripper, Investment calculations

SISÄLLYS

JOHDANTO	1
Yritysesittely	2
1 ROBOTIIKKA	3
1.1 Robottityypit	4
1.1.1 Kappaleenkäsittelyrobotit	6
1.1.2 Maalausrobotit	7
1.1.3 Hitsausrobotit	8
1.2 Robottitarraimet	9
1.2.1 Mekaaniset tarraimet	10
1.2.2 Magneettitarraimet	10
1.2.3 Imu- ja tyhjiötarraimet	11
1.3 Robotin ohjelmointi	11
1.3.1 Opettamalla ohjelmointi eli online-ohjelmointi	12
1.3.2 Offline-ohjelmointi	13
1.4 Tunnistimet robotiikassa	13
1.4.1 Lähestymiskytkimet	13
1.4.2 Konenäkö	15
1.5 Antureiden merkitys robotin ohjauksessa	18
1.5.1 Inkrementtianturit	18
1.5.2 Absoluuttianturit	19
1.5.3 Resolverit	19
1.6 Työturvallisuus robotiikassa	20
1.6.1 Onnettomuuksien syyt	20
1.6.2 Onnettomuuksien ehkäisy	21
1.6.3 Robotteja koskevat määräykset Suomessa ja EU:ssa	22
2 LÄMPÖKÄSITTELY	23
2.2 Sammutus	25
2.3 Päästö	25
2.4 Nuorutus	26
2.6 Lämpökäsittelyuunit	28
3 INVESTOINTILASKELMAT	28
4 ROBOTISOLUN SUUNNITTELU	30

4.1 Lähtötilanne	30
4.2 Käsiteltävät kappaleet.....	31
4.3 Telinesuunnittelu	32
4.4 Pyörityspöydät	36
4.5 Tarrain	37
4.6 Solun simulointi.....	40
4.6 Terien robottipaikannus	41
4.7 Robotin hankinta.....	42
5 YHTEENVETO.....	46
5.1 Kehitysmahdollisuudet	47
LÄHTEET	48
LIITTEET	50

JOHDANTO

Opinnäytetyömme aiheena on lämpökäsittelylinjan panostus- ja purkuvaiheen automatisointi. Työmme koostuu uusien panostelineiden ja robottitarraimen suunnittelusta, solun toimintojen kuvaamisesta ja simuloinnista sekä solun layout-suunnittelusta. Näiden määrittelyjen perusteella pyydettiin tarjoukset eri robottitoimittajilta. Työn lopullisena tuotoksena syntyi investointilaskelma Sandvik Mining and Construction Oy:n investointibudjetin suunnitteluun.

Panostus on lämpökäsittelyn raskain yksittäinen työvaihe. Fyysisen kuormittavuuden lisäksi se on myös työturvallisuusriski, koska käsiteltävät kappaleet ovat painavia. Tehtävämme oli suunnitella, miten tästä raskaasta työvaiheesta päästäisiin eroon automaation avulla. Suurimpina hankintoina tulisi olemaan työtä tekevä robotti sekä panostelineitä pyörittävät pyörityspöydät. Optiona olisi automaattinen maalaus sekä tuotteiden pakkauskone.

Opinnäytetyömme kirjallinen osuus koostuu kolmesta suuresta alakokonaisuudesta: terästen lämpökäsittely, robotiikka sekä tehtävämme ratkaisu. Lämpökäsittelyssä on keskitytty nuorrutuksen teoriaan ja robotiikassa kerrotaan perusteet robotiikasta.

Opinnäytetyön tilaavalla yrityksellä oli oikeasti tarvetta tämänkaltaiselle työlle, joten työn tekeminen oli hyvin mielekästä. Panostuksen automatisointia oli yrityksessä tutkittu aikaisemmin, mutta jätetty toteuttamatta, koska robottitoimittajilta ei löytynyt tällöin sopivaa ratkaisua. Nyt yritys halusi ulkopuolista näkemystä ja saimmekin tuotua uusia ideoita alkuperäisiin suunnitelmiin mm. tarttuja- ja kappaleenhakuratkaisuihin.

Tarkka nykyprosessin kartoitus ja tutustuminen robotiikan mahdollisuuksiin kappaleenkäsittelyn automatisoinnissa edesauttoivat työn onnistumista ja eteen tulleet

ongelmat saatiin ratkaistua hyvin. Investoinnin kartoitustyön tulokset realisoiva investointilaskelma toimitettiin työn tilaajalle annettuun määräaikaan mennessä.

Yritysesittely

Sandvik on kansainvälinen korkean teknologian teollisuuskonserni. Yrityksen tuotteet ovat markkinajohtajia kaikilla valituilla tuotealueilla, joita ovat louhinta- ja materiaalinkäsittelylaitteet ja niihin liittyvät palvelut, työkalut metallintyöstöön, ruostumattomat materiaalit, erikoismetalliseokset ja prosessijärjestelmät. Vuonna 2009 Sandvik Group työllisti noin 44 000 henkilöä ja sen liikevaihto oli noin 72 miljardia Ruotsin kruunua. Yrityksellä on toimintaa 130 maassa. (Rämö 2010)

Sandvik Groupiin kuuluva Sandvik Mining and Construction -liiketoiminta-alue on maailman johtava kaivos- ja rakennusteollisuuden louhinta- ja materiaalinkäsittelylaitteiden, porakaluston ja niihin liittyvien palveluiden tuottaja. Vuonna 2009 Sandvik Mining and Constructionin palveluksessa oli 14 400 henkilöä ja sen liikevaihto oli 32,6 miljardia Ruotsin kruunua. (Rämö 2010)

Lahdessa valmistetaan hydraulivasaroita, jotka ovat kaivukoneiden lisälaitteita. Henkilöstöä on noin 200. (Rämö 2010)

1 ROBOTIIKKA

Robotin määrittäminen on vaikeaa. Eri maiden tulkinnat, mikä on robotti ja mikä ei, on vaihtelevaa (Aaltonen, Airila, Andersin, Ekman, Kauppinen, Liukko & Pohjala 1992, 166.). Kansainvälisen robottiyhdistyksen mukaan robotti on vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. (Aalto, Heilala, Hirvelä, Kuivanen, Laitinen, Lehtinen, Lempiäinen, Lylynoja, Renfors, Selin, Siintoharju, Temmes, Tuovila, Veikkolainen, Vihinen & Virtanen 1999, 13.). Kuitenkaan pelkkää yksinkertaista toimilaitetekäsiä, joka panostaa tai purkaa ei voida kutsua robotiksi, joten uudelleenohjelmoitavuus on tärkeää. (Aaltonen, ym. 1992, 166.)

Sytä, miksi robotteja hankitaan suomalaiseen konepajateollisuuteen, ovat kyselyn mukaan mm. seuraavat:

- raskaiden työtehtävien ja kappaleensiirtojen helpottaminen
- tuotteiden laadun parannus
- tarve saada miehittämättömiä työvuoroja
- turvallisuuden parantaminen
- tuottavuuden ja kilpailukyvyn lisääminen
- ammattitaitoisten työntekijöiden puute (Aaltonen, ym. 171).

Robottijärjestelmä koostuu useista eri osista, jotka kaikki pitää ottaa huomioon ennen robottijärjestelmän ostoa ja käyttöönottoa. Näitä asioita ovat mm.

- käsiteltävät kappaleet
- robotin koko ja malli
- robotin ulottuvuus ja massat
- robottitarraimet ja työkalut
- ohjelmointi
- henkilökunnan koulutus
- solun layout
- anturit

- solun turvallisuus.


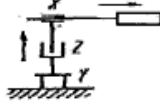


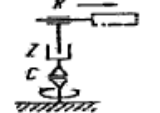


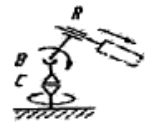

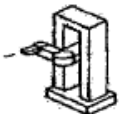
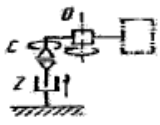


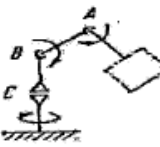

Eri valmistajilla on nykyään useita kymmeniä robottimalleja. Malleja löytyy suoraan niin hitsaukseen, maalaukseen kuin kappaleenkäsittelyyn. Lisäksi toimittajat tekevät robottisovelluksia asiakkaan tarpeiden mukaan.

Robottiikka on myös Suomessa mennyt paljon eteenpäin, ja sovelluksista on tullut luotettavampia sekä tuottavampia. Lisäksi markkinoille on tullut ja tulee lisää erilaisia malleja eri toimittajilta. Teollisuuden omakohtaiset kokemukset roboteista helpottavat uusien robotti-investointien tekemistä.

1.1 Robottityypit

Erilaisten robottien skaala on laaja. Robotteja löytyy pienistä mikrometrien liikkeisiin kykenevistä roboteista aina parin tonnin kappaleita nostaviin hydraulisiin robotteihin. Ennen yhdellä mallilla pyrittiin tekemään mahdollisimman paljon erilaisia tehtäviä, mutta nykyään yleisempää on ns. erikoisrobottien käyttö. Yleisimpiä robottityyppejä ovat kappaleenkäsittely-, maalaus- sekä hitsausrobotit. Lisäksi on esimerkiksi koneistus-, kokoonpano-, lavaus-, leikkaus-, särmäys- sekä pakkausrobotteja. (Aalto, ym. 1999, 30.)

Robottityypit voidaan jakaa myös niiden rakenteen mukaan. Oheisessa kuviossa esitetään yleisimmät rakenteet ja niiden työalueet.

Nimitys pääakselien mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatistirobotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			

KUVIO 1. Teollisuusrobotit jaoteltuna rakenteen mukaan. (Pitkälä 2008)

1.1.1 Kappaleenkäsittelyrobotit

Kappaleenkäsittelyrobotteja on useita erilaisia, mutta yleisin malli on tällä hetkellä kiertyvänivelinen robotti, jossa vapausasteita on kuusi tai neljä. Tämä tarkoittaa, että robotilla on joko neljä tai kuusi akselia, joiden ympäri robotin käsivarsi pyörii. Kokoja on useita erilaisia riippuen käsiteltävien kappaleiden painosta sekä tarvittavasta toimintasäteestä. Käsiteltävien kappaleiden paino voi olla alle kilosta aina 800 kiloon saakka.

Kappaleenkäsittelyrobotit ovat usein myös osa FMS-järjestelmää. Tällöin robotti panostaa kappaleita esim. sorviin eikä käyttäjän tarvitse kuin tuoda kappaleet robotin alueelle. Täten soluun saadaan korkea käyttöaste. Yleensä kyseisillä järjestelmillä saavutetaan myös miehittämätöntä koneaikaa (esim. yövuoro).



KUVIO 2. ABB:n IRB 7600 robotti (ABB robotics 2010)

1.1.2 Maalausrobotit

Maalausrobotti on vähintään kuusivapausasteinen manipulaattori, jossa on panostettu varsinkin maalinhallintaan (<http://www.maalausrobotti.fi/>). Robottien käyttö maalauksessa on suosittua tasaisen jäljen, työvaiheen fyysisen kuormittavuuden sekä maalinkäytön säästämisen takia (Aaltonen ym. 1992, 180.). Yhtenä isona tekijänä on myös robotin käsivarren IP-suojaus luokka. Maalausroboteissa tämä on yleensä EX-tasoa, kun taas perinteisissä kappaleenkäsittelyroboteissa tämä on taas yleensä luokka IP 67. EX-luokitus mahdollistaa liuotinpohjaisten maalien käytön. Myös perinteisiin kappaleenkäsittelyrobotteihin on mahdollista saada EX-luokitus, mutta hinta nousee silloin merkittävästi (Luukkonen 2010).



KUVIO 3. Motomanin PX1450 maalausrobotti (Motoman Robotics 2010)

1.1.3 Hitsausrobotit

Robotteja käytetään metalliteollisuudessa hitsauksen automatisointiin. Yleensä roboteilla hoidetaan piste- sekä kaasukaarihitsaus. Robottien käyttö hitsauksessa on yleistä, koska siinä syntyy ihmiselle vaarallisia kaasuja eli huuruja. Myös robotin tekemä tasalaatuinen hitsaussauma sekä yleensä ihmistä nopeampi työskentely, varsinkin yksinkertaisissa kappaleissa sekä suurissa sarjoissa, ovat syynä hitsausrobottien käyttöön. Yleensä hitsausrobotin yhteydessä on jonkinlainen kappaleenkäsittelypöytä, jotta robotti pääsee hitsaamaan kappaleen tarvittavista suunnista. (Aaltonen ym. 1992, 170.)



KUVIO 4. Hitsausrobotti työssään (Kinerobot 2010)

1.2 Robottitarraimet

Robottitarraimella tarkoitetaan sitä robotin osaa, jolla robotti tarttuu työstettävään kappaleeseen sekä siirtää sen. Tarraimia on useita erilaisia, mm. alipaine-, magneetti-, sormi-, avautuvat ja sulkeutuvat- sekä keskittävät tarraimet. Työkaluilla taas tarkoitetaan prosessiin osallistuvia työkaluja, kuten maalausruiskua, hitsauspistoolia tai liimasuutinta. On myös olemassa kombinaatiotarraimia, joissa yhdistyvät esim. magneettitarraimain sekä maalauspistooli. (Aalto ym. 1999, 60.)

Tarraim on hyvin tärkeä osa robotissa, ja monissa tapauksissa se on suunniteltava käyttökohdetta varten tapauskohtaisesti. Tämä johtuu kappaleiden muoto- ja koeroista. Markkinoilta löytyy myös standarditarttuvia.

Erilaisia tarraimia voi robotilla olla useita, ja tällöin robottisolussa on usein automaattinen tarraimen vaihtoteline. Toisena vaihtoehtona on tällöin tarraimen manuaalinen vaihto.

1.2.1 Mekaaniset tarraimet

Mekaaniset tarraimet ovat yleisimpiä robottitarraimia. Niitä käytetään usein varsinkin erilaisissa panostustehtävissä. Etuna näissä on edullinen hinta varsinkin yksinkertaisissa tarraimissa. Robottitoimittajilta löytyykin erilaisia mekaanisia tarraimia suoraan hyllystä.

Mekaanisilla tarraimilla on erilaisia kinemaattisia rakenteita. Näitä ovat mm. erilaiset nivelmekanismit, hammaspyörästä ja -tangosta koostuvat, epäkeskot, ruuvimekanismit ja vaijeriväkipyörä rakenteet. (Aalto ym. 1999, 61-62.)

Mekaaninen tarrain koostuu toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä (Aalto ym. 1999, 62.). Tarraimessa voi olla myös useita erilaisia tartuntaosia, jolloin sillä voidaan käsitellä erilaisia kappaleita.



KUVIO 5. Schunkin mekaaninen tarrain, jossa on erilaisia päitä eri toimintoihin. (Agco automatisoi Linnavuoren putkiverstaan 2010)

1.2.2 Magneettitarraimet

Magneettitarraimia voidaan käyttää vain magnetisoituvien kappaleiden käsittelyyn. Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta ja ilmaraosta. Kestomagneetti on työturvallisuuden kannalta sähkömag-

neettia parempi vaihtoehto. Tällöin joudutaan käyttämään erillistä irroituslaitetta, joka on usein pneumaattinen sylinteri, jota ohjataan robotin keskusyksiköllä. Sähkömagneetti lämpenee käytössä, jolloin työkierrossa pitää ottaa huomioon sen lämpeneminen. (Aalto ym. 1999, 64.)

1.2.3 Imu- ja tyhjiötarraimet

Alipainetarramia käytetään sellaisissa sovelluksissa, joissa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa tai mahdotonta. Tällaisia sovelluksia ovat mm. levyjen, lasin ja sellaisten kappaleiden käsittely, joiden pintaan ei saa jäädä jälkiä tarraimesta. (Aalto ym. 1999, 63.)

Tärkein yksittäinen asia käsiteltävän kappaleen kannalta on, että se on sileä, puhdas ja tasainen. Jos joku näistä asioista ei toteudu, on alipainetarraimen käyttö hankalaa, koska silloin kappale ei todennäköisesti pysy tarraimessa luotettavasti. Jos taas kappaleen massa kasvaa, alipainetarraimen nostokykyä on helppo kasvat-
taa imukuppeja ja/tai imukupin tarttumapinta-alaa lisäämällä. Imukuppien paikka käsiteltävissä kappaleissa on yleensä keskitetty. (Aalto ym. 1999, 63.)

Imukupin etuina ovat rakenteen yksinkertaisuus ja luotettavuus (paitsi silloin kun paineet häviävät) sekä se, että siinä on vähän liikkuvia osia. Imukuppeja voidaan käyttää myös puhtastiloissa. Kunnossapidon kannalta imukupit ovat hyvä valinta, sillä ne on helppo vaihtaa, ja ne ovat yleensä ainoita kuluvia osia tarraimessa. (Aalto ym. 1999, 64.)

1.3 Robotin ohjelmointi

Robottiohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät ovat:

- liikkeiden ja toimintajärjestyksen tekeminen
- robotin integrointi muihin toimilaitteisiin
- toiminta virhetilanteissa.

Yleisin ohjelmointitapa on opettamalla ohjelmointi. Jos robotista ja sen työympäristöstä tehdään kolmiulotteinen malli, voidaan tehdä mallipohjaista ohjelmointia ja solun simulointia. Usealla robottitoimittajalla on myös käytössään testilaboratorio, jossa asiakkaan robottia voidaan simuloida sekä tehdä siihen ohjelmat. Tämä toimii käytännössä siten, että toimittaja tekee ohjelman valmiiksi, ja testaa sitä omassa laboratoriossaan. Tällöin nähdään ohjelman toiminta ”oikeassa” käyttöympäristössä ja voidaan tehdä tarvittavat korjaukset jo toimittajan tiloissa. Tätä kutsutaan ns. Offline – ohjelmoinniksi. (Aalto ym. 1999, 78.)

Nykyään on suosittua myös parametrinen ohjelmointi, jolloin ohjelma sisältää muuttujia, ja sitä voidaan muokata helposti esim. erikokoisille kappaleille.

1.3.1 Opettamalla ohjelmointi eli online-ohjelmointi

Opettamalla ohjelmoinnissa robotin työkalu viedään haluttuun paikkaan käsiohjaimen avulla ja tallennetaan tämä asema muistiin. Koko ohjelma käydään samalla tapaa läpi, ja lopuksi ohjelmaa voidaan hienosäätää nopeuksien ja asemien osalta. Tähän ohjelmointitapaan lisätään yleensä päätteellä tehtävää perinteistä ohjelmointia, jolla voidaan liikkuminen asemien välillä tai kohdeaseman valinta tehdä helpommin. (Aalto ym. 1999, 79.)

Uusissa roboteissa ei ole erillistä käsiohjainta, vaan sen tilalla on ohjelmointipaneeli. Sillä on aloittelijankin helppo tehdä yksinkertaisia ohjelmia pienellä opastuksella. Periaate on silti sama kuin opettamalla ohjelmoinnissa, erona on vain se, että ohjelmointipaneelilla voidaan muokata ohjelmaa ilman erillisen pc:n käyttöä.

Tyypillisesti roboteilla on peruskäskykanta, johon kuuluu mm. :

- liiketavan valinta
- liikekäsky
- tehtäväkoordinaatiston siirto kuudessa vapausasteessa

- liikenopeuden ohjaus
- liikenopeuden ohjaus ulkoisen anturin mukaan
- ulkoisten antureiden mukaan lasketut korjausliikkeet
- työkalukoordinaatistoliikkeet
- antureiden luku (Aalto ym. 1999, 80).

1.3.2 Offline-ohjelmointi

Offline-ohjelmoinnissa ohjelmointi tapahtuu pc:n ääressä. Nykyään voidaan ohjelmaan luoda robotin ominaisuudet, rajoitteet sekä ympäristö. Täten ohjelma voidaan teon jälkeen siirtää robotille valmiina, ja siinä on periaatteessa otettu jo kaikki muuttujat huomioon. Toki ohjelma pitää aluksi ajaa hitailla nopeuksilla, ettei tapahdu mitään odottamatonta. Offline-ohjelmoinnilla robottisolu voidaan simuloida, josta taas on suuresti hyötyä. Simuloinnilla nähdään esim. solun ”pullonkaulat”, kapasiteetti, robotin liikeratojen mahdolliset rajoitukset ja käyttöaste. Näistä varsinkin kapasiteetti, pullonkaulat sekä käyttöaste ovat asioita, joita voidaan käyttää robotti-investoinnin kannattavuuden laskemisessa. (Aaltonen ym. 1992, 170.)

1.4 Tunnistimet robotiikassa

Kappaleentunnistus tehdään robotiikassa erilaisten antureiden avulla. Anturin valintaan vaikuttavat kappaleen koko, muoto ja materiaali sekä ympäristön valoisuus ja tunnistukselta vaadittava tarkkuus. Yleisesti käytetään erilaisia lähestymiskytkimiä, laseria, ultraääntä sekä vaativimmissa tunnistusjärjestelmissä konenäköä.

1.4.1 Lähestymiskytkimet

Induktiivinen anturi muodostaa eteensä suuritaajuisen magneettikentän. Tämän avulla se pystyy tunnistamaan helposti erilaiset metallit. Tunnistusetäisyys on

tavallisesti 0...20 mm, mutta niitä valmistetaan myös suuremmille etäisyyksille. (Kettunen 2004.)

Kapasitiivinen anturi kehittää ympärilleen sähkökentän, joka heikkenee esineen lähestyessä sen tuntopäätä. Se tunnistaa melkein kaikkia materiaaleja. Tunnistusetäisyys on tyypillisesti säädettävissä. (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström & Välimaa 1996, 37.)

Optisia antureita on kolmea eri tyyppiä (kohteesta heijastava, peilistä heijastava, erillinen lähetin-vastaanotin). Robotiikassa käytetään kohteesta heijastavia optisia antureita. Tunnistusetäisyys riippuu aina tunnistettavan kappaleen materiaalista ja sen heijastusominaisuuksista. Kohteesta heijastavia antureita on saatavilla valon määrään perustuvalla sekä heijastuvan säteen tulokulmaa mittaavalla rakenteella. (Kettunen 2004.)

Ultraäänianturissa lähetin ja vastaanotin ovat samassa kotelossa tai erikseen. Anturi lähettää tunnistettavaan kohteeseen ultraääntä, joka heijastuu takaisin anturin vastaanottimeen. Tunnistusetäisyys riippuu jälleen materiaalista: ääntä imevillä tunnistusetäisyys on lyhyt.



KUVIO 6. Sick UM18 Ultraäänianturi (Sick Ultrasonic sensors 2010)

Laserantureiden toimintaperiaate on sama kuin kohteesta heijastavilla optisilla antureilla. Laserin eduksi on vain laskettava huomattavasti parempi tarkkuus (jopa 0,01 mm). Robotiikassa laseria käytetään kappaleen paikan, etäisyyden ja paksuuden tunnistukseen.

1.4.2 Konenäkö

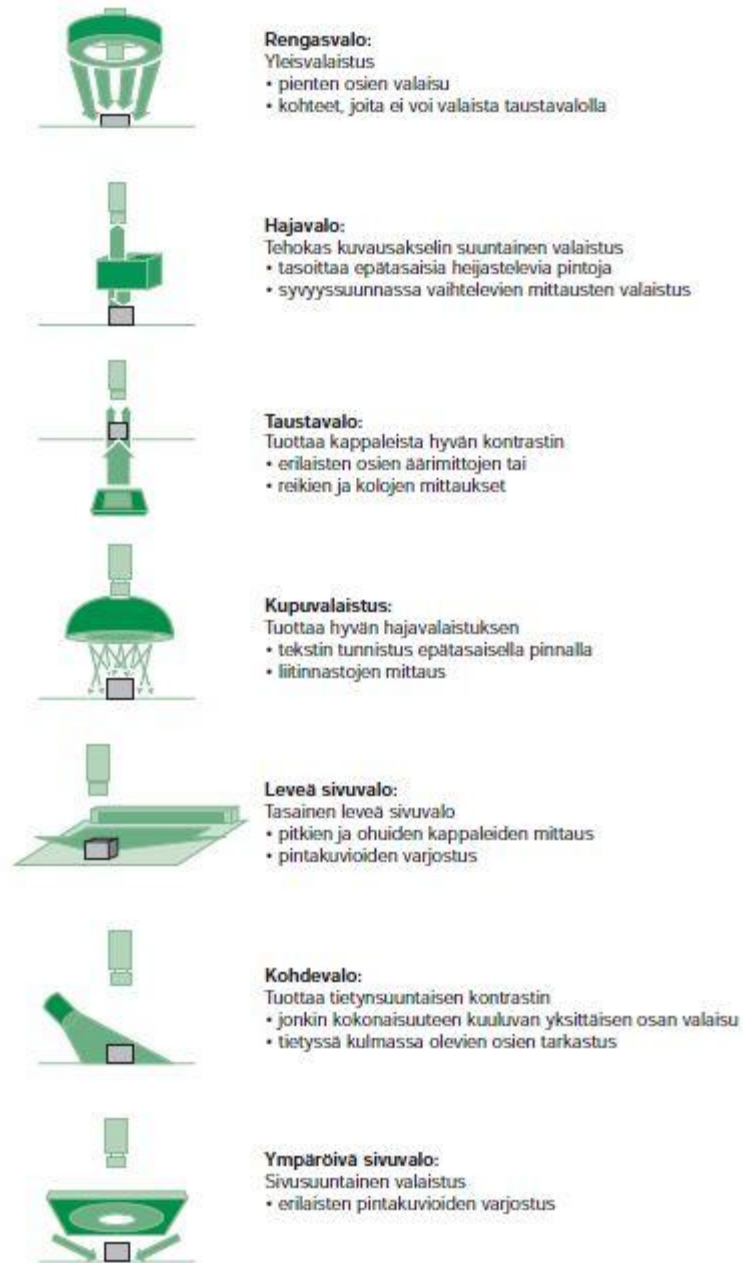
Konenäköjärjestelmän pääkomponentit ovat yleensä standardioptiikka, kuvanmuodostuselin (CCD-kenno), kuvanprosessointiyksikkö ja -käsittelyohjelma, valaistus sekä liitännät muihin järjestelmiin. Konenäön tehtävät robotiikassa voidaan jaotella kolmeen pääryhmään:

- kappaleen sijainnin määrittäminen
- kohteen luokittelu (esim. värin tai muodon perusteella)

- kohteen mittaus robotin liikeohjelman luomiseksi tai muokkaamiseksi (Aalto ym. 1999, 56).

Konenäköjärjestelmissä on sekä väri- että mustavalkokameroita. Yleensä soveluksissa tullaan toimeen mustavalkokameran 256:lla eri harmaan sävyllä. Kamerate ovat nykyään yleensä digitaalisia. Kuvanprosessointiyksikkö voi olla integroituna kameraan tai se voi olla erillinen. Sen tehtävä on muuttaa kuva digitaalseksi kuvapisteiden taulukoksi, jota kuvankäsittelyohjelma tulkitsee. (Aalto ym. 1999, 56.)

Valaistuksella on tärkeä asema konenäköjärjestelmissä. Sen tehtävänä on muodostaa mahdollisimman hyvä kontrasti kuvattavan kohteen ja ympäristön välille. Lisäksi valaistuksen on pysyttävä vakiona, joten konenäkö ei sovellu paikkoihin, joissa on esimerkiksi runsaasti ikkunoita. Erilaisia valaistustapoja on esitelty kuviossa 6. (Aalto ym. 1999, 57.)



KUVIO 7. Erilaisia valaistustapoja (Hänninen 2001, 36)

1.5 Antureiden merkitys robotin ohjauksessa

Robottia ohjattaessa on tärkeää tietää, missä asennossa sen nivelet milloinkin ovat. Kiertokulman mittauksessa käytetään servomoottorin akselille kytkimellä sijoitettavaa anturia. Kiertokulman lisäksi antureilla saadaan tieto robotin nivelten kulloisistakin liikesuunnista, nopeuksista sekä kiihtyvyyksistä. Roboteissa käytävät asema-anturit voidaan jakaa kolmeen ryhmään niiden toimintaperiaatteen mukaan:

- inkrementtianturit
- absoluuttianturit
- resolverit (Aalto ym. 1999, 30).

1.5.1 Inkrementtianturit

Anturi lähettää ohjausjärjestelmälle pulsseja, jotka vastaavat tiettyä akselin kulmaa matkaa tai moottorin kiertynyttä kulmaa. Inkrementtiantureita käytettäessä tulee ohjausjärjestelmän tietää nivelen alkuasema. Tämän vuoksi robotit on käynnistettäessä kalibroitava. (Aalto ym. 1999, 31.)

Normaalisti inkrementtianturi lähettää pulsseja kolmesta eri kanavasta. Nämä ovat A, B ja Z. A-kanavalla ja B-kanavalla on 90 asteen vaihe-ero, jonka perusteella voidaan päätellä kumpaan suuntaan moottori pyörii, eli kumpaan suuntaan nivel kiertyy. Kun vielä tiedetään anturin tarkkuus (esim. 250 pulssia/kierros), voidaan vastaanotettujen pulssien perusteella laskea anturin kiertynyt kulma. Mitä isompi tarkkuus anturilla on, sitä tarkemmin kiertokulma saadaan selville. Z-kanava toimii tarkistuspulssina. Sieltä saadaan yksi pulssi kierrosta kohden. (Aalto ym. 1999, 30.)

1.5.2 Absoluuttianturit

Optomekaanisessa absoluuttianturissa on useita koodikiekkoja, jotka eri nopeuksilla pyöriessään muodostavat digitaalisia kooditavuja. Kooditavut menevät mikrokontrollerin kautta ohjausjärjestelmään, jossa saadaan tieto anturin kiertyneestä kulmasta. Absoluuttiantureita on sekä yksikierros- että monikierrosmalleja. (Aalto ym. 1999, 32.)

Absoluuttiantureiden tarkkuus on yleensä suurempi kuin inkrementtiantureilla. Tämän lisäksi se tietää jatkuvasti kiertymäkulmansa, eli kulma ei häviä esimerkiksi sähkökatkon aikana. Tämän vuoksi absoluuttiantureilla varustettuja robotteja ei myöskään tarvitse käynnistettäessä kalibroida. (Aalto ym. 1999, 32)



KUVIO 8. Omron E6C3-A Absoluuttianturi (Omron Absoluuttianturit 2010)

1.5.3 Resolverit

Resolveri on hyvin luotettava sen yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Siinä staattorin ja roottorin välinen kulma muuttaa magneettivuota, joka taas vaikuttaa toi-

siojännitteeseen. Resolveri on siis eräänlainen muuntaja. Muuttuneen jännitteen avulla voidaan päätellä kiertymäkulma. (Aalto, ym. 1999, 32.)

1.6 Työturvallisuus robotiikassa

Robottisovellusten yksi suuri hyöty on parantunut työturvallisuus. Varsinkin vaarallisissa töissä robotti pystyy tekemään työt huomattavasti ihmistä turvallisemmin. Tällaisia töitä ovat mm. erilaiset maalaustyöt, hitsaukset (ei tule vaarallisia huuruja työntekijän hengitettäväksi), valutyöt sekä painavien kappaleiden käsittely. Parantunut työturvallisuus onkin yksi syy, miksi robotiikkaa on kehitetty niin paljon. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 333.)

Kuitenkin robotiikka itsessään on tuonut erilaisia vaaratekijöitä työympäristöihin. Ne voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri kategoriaan:

- törmäykset (kappaleen, ihmisen sekä robotin välillä)
- puristus (kappaleen ja apulaitteen välillä)
- muut (esim. sähköiskut) (Keinänen ym. 2001, 333.)

1.6.1 Onnettomuuksien syyt

Onnettomuuksia robotiikassa voivat keskenään aiheuttaa vain sen osapuolet, eli robotti ja ihminen. ”Kaksi kolmasosaa robotin aiheuttamista onnettomuuksista johtuu robotin ohjausjärjestelmän erilaisista vioista” (Keinänen ym. 2001, 334.) Tästä syystä uuden ohjelman ensiajossa täytyy aina olla erityisen varovainen ja käyttää hitaita nopeuksia. Hitailla nopeuksilla varmistutaan oikeasta ohjelmasta ja se voidaan pysäyttää, jos se ei toimikaan toivotulla tavalla. Tämä siis kannattaa tehdä siitä huolimatta, vaikka ohjelma olisi tehty ns. offline tilassa ja siinä simulointi olisi toiminut täydellisesti. Käytäntö kun aina eroaa todellisuudesta. (Keinänen ym. 2001, 333.)

Robotiikassakin ihminen aiheuttaa itse suuren osan onnettomuuksista. Voidaan esim. mennä robotin alueelle turva-aidan yli, vaikka kone olisikin käynnissä, jos ohjelmaa ei haluta keskeyttää ja käynnistää alusta. Tästä syystä riittävä ja usein toistuva koulutus tältäkin osalta on erittäin tärkeää.

Yksi mahdollinen vaaratekijä ovat tarraimet. Sähkömagneetteja ja pneumatiikkaa käytettäessä vaarana ovat sähkökatkot. Näiden seurauksena kappale voi pudota tarraimesta, ja aiheuttaa henkilö tai- materiaalivahinkoja. (Keinänen ym. 2001, 334.)

1.6.2 Onnettomuuksien ehkäisy

Tärkein työ onnettomuuksien ehkäisyssä tehdään robottisolun suunnitteluvaiheessa. Tällöin pitää tehdä riittävät turvalaitteet, jotta solussa on turvallista työskennellä. Tällaisia turvalaitteita ovat mm.

- mekaaniset esteet (turva-aidat ja muut vaara-alueelle pääsyn estävät rakenteet)
- erilaiset tunnistavat turvalaitteet (valoverhot ja erilaiset muut anturit)
- varoituskilvet
- varoitusvalot ja äänilaitteet.

Tämän jälkeen jää vielä ihmisen riittävä koulutus. Jos robotti on tehtaassa ensimmäinen laatuaan, suhtautuvat työntekijät siihen aluksi tietynlaisella ”kunnioituksella”. Tällöin turvallisuusmääräyksiä noudatetaan tarkasti, mutta ajan kanssa toiminta käy rutiininomaiseksi, jolloin niitä kaikkia ei enää yleensä noudateta. Riskit ja vaaratekijät säilyvät kuitenkin samoina, jolloin onnettomuuden vaara kasvaa. Työnjohdolla onkin tässä iso työnsarka, jotta määräyksiä noudatetaan koko ajan. Riittävä ja usein toistuva koulutus auttaa myös asiaa. (Keinänen ym. 2001, 334-335.)

Robottitoimittajat ovat myös kehittäneet ns. älykkäitä turvalaitteita. Tällä tarkoitetaan erilaisia laitteita joita robotti ”lukee” ja tekee sen jälkeen päätöksiä tietojen perusteella. Tällaisia laitteita ovat mm.:

- ultraäänianturi
- konenäkö
- infrapuna-anturi
- tärinäanturi
- mikroaaltoihin perustuva rajailmaisin
- kapasitiivinen anturi (Keinänen ym. 2001, 335.)

Yhtenä esimerkkinä tästä on ABB:n roboteissa oleva järjestelmä. Kyseisessä järjestelmässä robotti hidastaa työnopeuttaan, jos ihminen tai joku esine tulee tietyllä etäisyydelle. Mitä lähemmäs ihminen tulee, sitä hitaammaksi työnopeus muuttuu, kunnes robotti pysähtyy tietyllä ennalta määrätyllä rajalla. Tässä järjestelmässä on hyötynä se, että ohjelma ei heti ”katkea” vaikka ihminen tulisikin turva-alueelle, vaan robotti hidastaa turvalliseen nopeuteen, ja näin ohjelmaa ei tarvitse käynnistää uudelleen. (Lindevall 2010.)

1.6.3 Robotteja koskevat määräykset Suomessa ja EU:ssa

Robotteja koskevat määräykset Suomessa ja EU:ssa ovat mm. seuraavat:

- Keskeinen valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta ns. konepäätös 1314/1994/ETY
- Valtioneuvoston päätös työturvavälineiden turvallisesta käytöstä 1403/93
- Työturvallisuuslaki 299/58, muutos 44/93 pykälä 40
- Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008
- Työsuojelun valvontalaki 131/73
- Yhdenmukaistetut EN-standardit (Keinänen ym. 2001, 335).

2 LÄMPÖKÄSITTELY

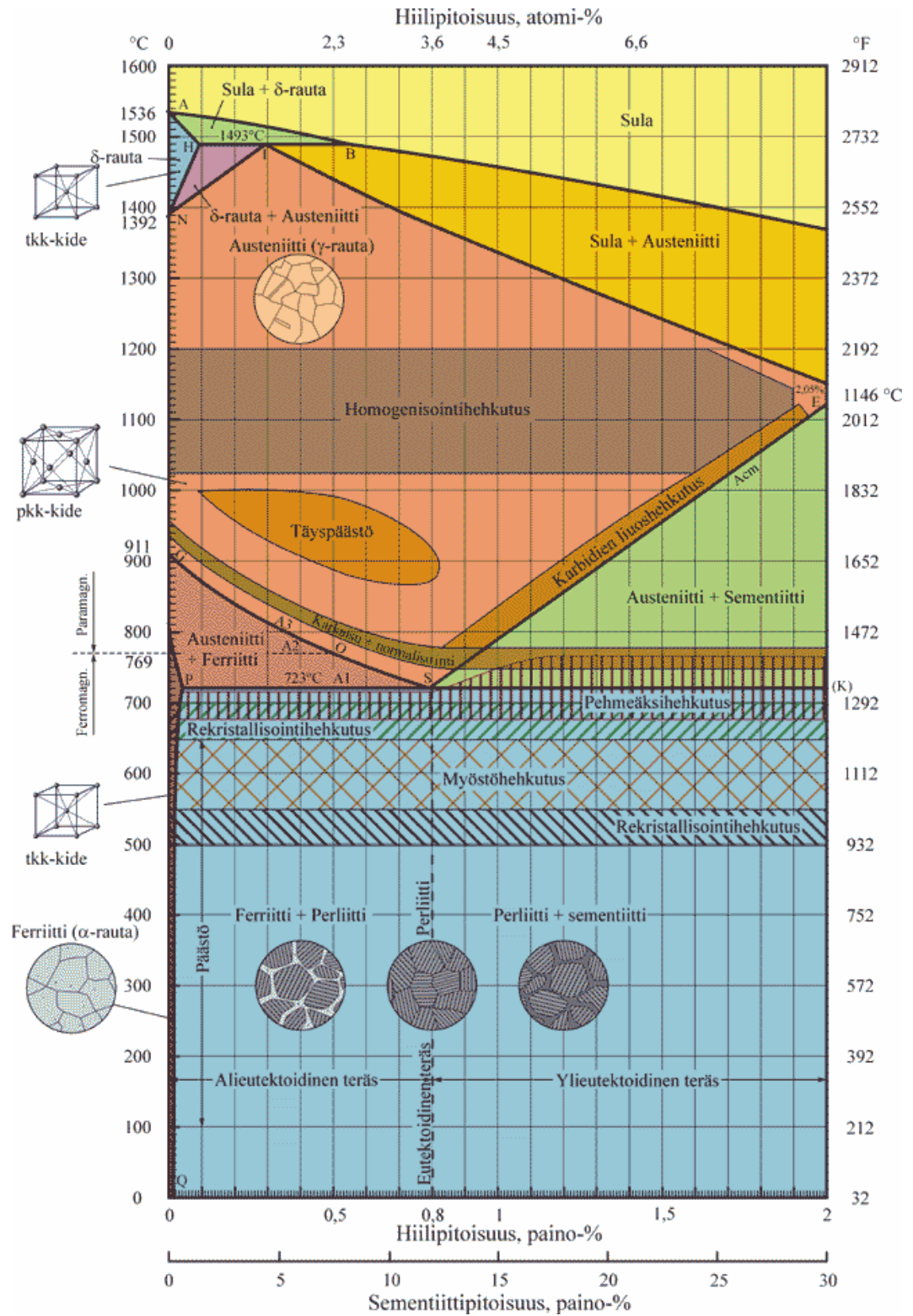
Karkaisun ensisijainen tehtävä on lujittaa terästä. Päävaiheet karkaisussa ovat kuumennus teräksen austeniittialueelle (austenitointi), nopea sammutus eli jäähdytys sekä päästö, jolla pyritään palauttamaan kuumennuksessa menetetty sitkeys. (Kivivuori & Härkönen 2004, 49.)

2.1 Austenitointi

Karkaisukuumennukseen (austenitointiin) käytettävä kokonaisaika voidaan jakaa kuumennusaikaan sekä pitoaikaan. Jos karkaistavaa kappaletta kuumennetaan liian nopeasti, saattaa se johtaa kappaleen murtumiseen tai tarpeettoman suuriin mitta- ja muodonmuutoksiin. Tämän vuoksi karkaisussa käytetään usein esikuumennusta, jolloin kappale kuumenee tasaisemmin. Esikuumennuksessa lämpötila on hieman A1-rajan (KUVIO 9) alapuolella. (Kivivuori & Härkönen 2004, 51.)

Pitoaika vaihtelee teräksen seostuksen mukaan. Esimerkiksi seostamattomat tai niukkaseosteiset teräkset vaativat vain muutaman minuutin pitoajan, kun taas runsaalla kromilla seostetut työkaluteräkset vaativat jopa kahden tunnin pitoajan kappaleen koosta riippuen. Muita pitoaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat uunityyppi ja kappaleiden panostus. Austenitoinnissa ei usein pyritä täysin homogeeniseen austeniittiseen rakenteeseen, koska se kestäisi liian kauan ja saattaisi aiheuttaa austeniitin rakeenkasvua. (Kivivuori & Härkönen 2004, 51.)

Seostus vaikuttaa myös karkaisulämpötilaan kuten rauta-hiili – tasapainopiirroksista (KUVIO 9) nähdään. Alieutektoidisilla hiiliteräksillä, joiden hiilipitoisuus on alle 0,8%, lämpötila on noin 50 astetta A3-rajan yläpuolella, kun taas ylieutektoidisilla (hiilipitoisuus 0,8...2,06%) karkaisulämpötila on hieman yli A1:n. (Kivistö, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomikoski 2008, 103.)



KUVIO 9. Rauta-hiili -tasapainopiirros (Rauta – Monipuolinen metalli 2005)

2.2 Sammutus

Teräksen nopeaa jäähdytystä karkaisun jälkeen kutsutaan sammutukseksi. Sammutuksen tarkoituksena on estää austeniitin hajoaminen ferriitiksi, perliitiksi tai bainiitiksi. Tavoitteena on martensiittinen rakenne. Martensiitti syntyy vain tarpeeksi nopeassa sammutuksessa. Nopeassa sammutuksessa on kuitenkin vaarana hauraan martensiitin repeäminen, koska kappaleen pinnassa ja sisäosissa on suuret lämpötilaerot. (Kivivuori & Härkönen 2004, 52.)

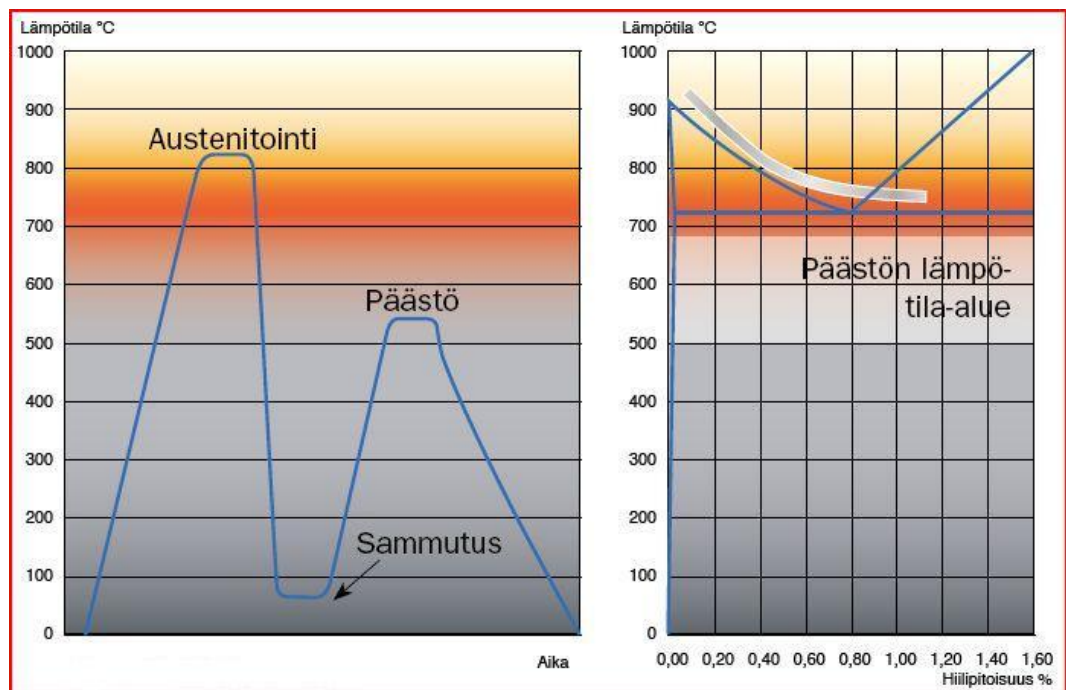
Sammutusväliaineina käytetään vettä, öljyä, kaasua tai jopa ilmasammutusta. Erikoisempia väliaineita ovat suola- ja metallikylvyt sekä leijupatja. Suolavedessä kappaletta samalla liikuttaen se jäähtyy kaikista nopeimmin, seisovassa ilmassa hitaimmin. Vesisammutusta käytetään seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen yhteydessä. Runsasseosteiset teräkset sammutetaan öljyyn, kaasuun tai ilmajäähdytyksellä. (Kivivuori & Härkönen 2004, 54; Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka & Tuomikoski 2008, 103.)

2.3 Päästö

Karkaisun kolmas päävaihe on nimeltään päästö, jossa kappaletta kuumennetaan kerran tai useammin A1-rajan alapuolella. Sitkeyden palauttamisen lisäksi päästöllä pyritään myös karkaisujännitysten vähentämiseen. Päästölämpötilaan kuumennus on suoritettava välittömästi sammutuksen jälkeen. Parhaaseen kovuuden ja sitkeyden yhdistelmään päästään, kun päästö tehdään useassa eri vaiheessa ja lämpötilaa nostetaan siten, että se viimeisessä vaiheessa on 260-360 astetta. (Kivivuori & Härkönen 2004, 56.)

2.4 Nuorrutus

Kun päästö tehdään selvästi korkeammassa lämpötilassa (450...680 astetta), on kyseessä nuorrutus. Lämpötila määräytyy teräskohtaisten nuorrutuspiirrosten mukaan (KUVIO 10). Nuorrutuspiirroksia on tehty myös eri paksuisille pyörötaangoille. Nuorrutuksen tavoitteena on hyvä lujuuden ja sitkeyden yhdistelmä. Tämän seurauksena kappaleen kovuus pienenee. Nuorrutuksesta kappaleet sammuteaan joko ilmassa tai vedessä. (Koivisto ym. 2008, 106.)

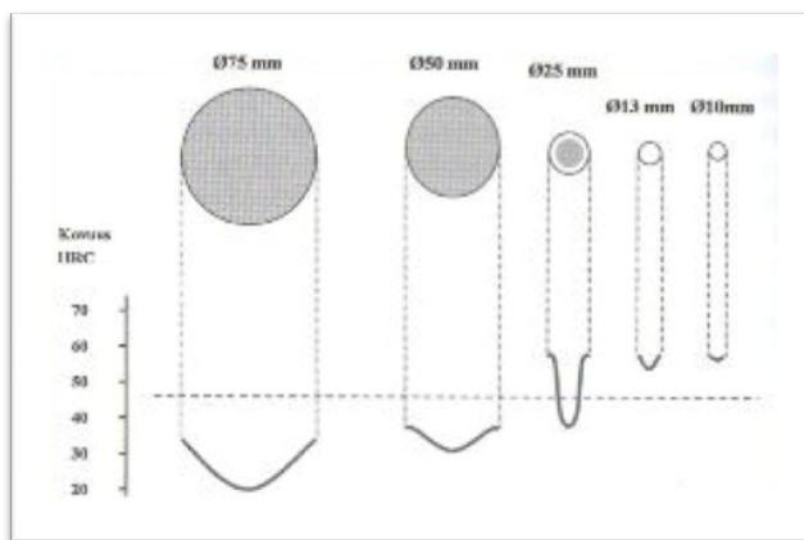


KUVIO 10. Nuorrutuspiirros (Teräskirja 2009, 61)

2.5 Karkenevuus

Karkenevuudella tarkoitetaan teräksen taipumusta kareta eli muuttua rakenteeltaan martensiittiseksi. Siihen vaikuttaa hiilipitoisuus, muiden seosaineiden pitoisuudet sekä austeniitin raekoko ja karkaisulämpötila. (Kivivuori & Härkönen 2004, 60.)

Karkenevuutta tutkitaan karkaisemalla eripaksuisia pyörötankoja (KUVIO 11). Mitä paksumpi pyörötanko kyseessä on, sitä vähemmän martensiittia on sen keskipisteessä. Pyörötangon poikkipintaa voidaan syövyttää esimerkiksi nitalilla, jolloin pinnasta nähdään milloin siinä on yli tai alle 50 % martensiittia. Kun pyörötangon keskipisteessä on 50 % martensiittia, on kyseessä kriittinen läpimitta. (Koivisto ym. 2008, 98.)



KUVIO 11. Valkoinen alue kuvaa martensiitin määrää eri läpimittaisissa C45E-teräksestä tehdyissä pyörötangoissa. (Kivivuori & Härkönen 2004, 60)

Suurin martensiittinen kovuus saavutetaan noin 0,7 % hiilipitoisuudella seostamattomilla teräksillä. Muut seosaineet vaikuttavat austeniitin hajaantumista hidastaen. Nämä seosaineet lisäävät teräksen karkenevuutta mutta eivät kuitenkaan vaikuta sen kovuuteen. Seosaineiden ansiosta on mahdollista saada läpimitaltaan suuremmatkin kappaleet karkenemaan, vaikka sammutusnopeus olisi pienempi. (Kivivuori & Härkönen 2004, 61.)

2.6 Lämpökäsittelyuunit

Lämpökäsittelyuuneissa on tärkeää, että lämpötilaa pystytään säätämään tarkasti ja että laitteet toimivat luotettavasti. Uunien runko on terästä, ja seinämissä on tulenkestävää materiaalia. Lämpötilan mittausta varten on uunissa oltava antureita. Uunin lämpötilaa ohjataan usein ohjelmoitavan logiikan avulla. Uunien lämmitykseen käytetään sähköä, maakaasua tai öljyä. Uunityyppejä ovat mm. kammio-uuni ja kuilu-uuni. (Koivisto ym. 2008, 121-122.)

3 INVESTOINTILASKELMAT

Investointilaskelmissa lasketaan tuleeko investointi taloudellisesti kannattavaksi. Perustapoja laskentaan on kolme:

1. Nykyarvomenetelmä (NA)

Tässä menetelmässä investoinnista saadut tuotot ja kustannukset diskontataan laskentakoron avulla nykyhetkeen (eli tulevaisuudessa saatavan tai käytettävän rahan arvo muutetaan vastaamaan tämänhetkistä rahan arvoa). (Lavikainen 2009.)

2. Annuiteettitekijä (AN)

Tässä perushankinta jaetaan annuiteettitekijän avulla investointijakson eri vuosille annuiteetiksi. Kriteerinä on, että vuosiannuiteetti on pienempi kuin vuotuinen nettotuotto. (Lavikainen 2009.)

3. Takaisinmaksuajan menetelmä

Tässä lasketaan aika, jonka kuluessa investointi on maksanut itsensä takaisin, ja rupeaa tuottamaan voittoa. Kolmea vuotta pidetään yleisesti kannattavan hankinnan rajana. Tämä on yleinen tapa sen helppouden vuoksi. (Lavikainen 2009.)

Kaikissa edellä mainituista tavoista on se ongelma, että ne eivät ota huomioon kaikkia tekijöitä. Tällaisia tekijöitä ovat mm. turvallisuuden parantuminen tai heikkeneminen. Nämä asiat tulee ottaa erikseen huomioon, kun mietitään investoinnin kannattavuutta.

4 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

4.1 Lähtötilanne

Työ alkoi yrityksen tuotantoon ja terien käsittelyyn liittyvään materiaaliin tutustumisella. Saimme tiedot käsiteltävistä teristä ja käytössä olevista panostelineistä. Tehtäväksi saimme suunnitella kappaleenkäsittelyn automatisoinnin lämpökäsittelyyn meneville terille. Samalla sovimme tehtävään kuuluvat työn osat:

- tarraimen suunnittelu
- panostelineiden suunnittelu
- mahdollisen pyörityspöydän suunnittelu
- solun layout-suunnittelu ja kuvien tekeminen
- investointilaskelman tekeminen
- yhteydenotot robottitoimittajiin ja tarjousten pyytäminen heiltä

Terien alkuperäinen työkierto tuotannossa:

1. Terät tuodaan trukilla karkaisimoon lavoilla
2. Terät nostetaan liinojen ja nosturin avulla panostelineeseen
3. Panosteline terineen viedään siltanosturin avulla lämpökäsittelyyn
4. Lämpökäsittely
5. Teline terineen viedään kattonosturin avulla kuulapuhallukseen
6. Kuulapuhallus
7. Terät puretaan panostelineestä liinojen ja nosturin avulla maalausvaunuun
8. Terät maalataan maalausvaunussa
9. Terät nostetaan magneetin avulla eurolavalle
10. Lava viedään trukilla lähettämöön pakattavaksi

Terien käsittelyn automatisointia oli yrityksessä harkittu aikaisemmin, mutta silloin projektia ei toteutettu. Yksi syy oli nykyisten panostelineiden soveltumattomuus automaatiokäyttöön. Toinen ongelma oli tarrainratkaisun löytäminen, koska

samalla solulla oli silloin tarkoitus käsitellä myös mäntiä, joita ei magneetilla voi käsitellä magnetisoitumisen takia. Kolmantena haasteena esiin oli noussut epätarkasti paikoittuneiden kappaleiden haku panostelineestä. Jo tehdystä investointitutkimuksesta saimme lähtömateriaaliksi ongelmakartoituksen sekä aiemmin saadut tarjoukset, joista pystyimme ottamaan ideoita omaan projektiimme.

4.2 Käsiteltävät kappaleet

Käsiteltävinä olevat kappaleet olivat murskaamiseen käytettävien vasaroiden teriä. Terät ovat muodoltaan sylinterimäisiä ja niiden kärjen muoto vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Terä voi olla muodoltaan esimerkiksi tylppä, talttamainen tai kartiomainen. Jokaisessa terässä on pidätintappia varten jyrsitty tasainen kohta, joka näkyy hyvin kuviossa 13 alemman vanteen kohdalla.

Teräaihiot tulevat alihankkijalta, missä niiden tuotanto on automatisoitu hyvin pitkälle. Kävimme tutustumassa teräaihioiden valmistamiseen alihankkijan luona, josta ne tulevat jatkokäsittelyyn kuormalavoilla (KUVIO 12.).

Terien kokoluokka on hyvin laaja. Pienin terä painaa vain 3,8 kg ja se on halkaisijaltaan 40 mm. Suurimman kokoluokan terät painavat 380 kg niiden halkaisijoiden ollessa 203 mm.



KUVIO 12. Hydraulivasaran teriä eurolavalle pakattuna.

Jos volyymimallin rajana pidetään yli 3000 valmistunutta terää kolmen vuoden aikana, niin niiden skaala ulottuu 63 mm:n halkaisijasta (massa 17kg) 160 mm:n halkaisijaan (massa 221 kg) asti. Näidenkin rajojen ulkopuolellakin on kokoluokkia, joissa valmistusmäärät ovat suuria. Kokoluokan suuri skaala tuotti hieman ongelmia robottia valittaessa.

4.3 Telinesuunnittelu

Lämpökäsittely vaatii kestävät telineet, joissa karkaistavat kappaleet siirretään uuniin. Yrityksellä on käytössä retorttiuunit ja panosteline on tähän uuniin suunniteltu. Panosteline näkyy kuviossa 14. Olemassa olevat panostelineet eivät kuitenkaan soveltuneet automaatiokäyttöön. Ongelmiksi niiden käytössä automaatiosovelluksissa muodostuisivat:

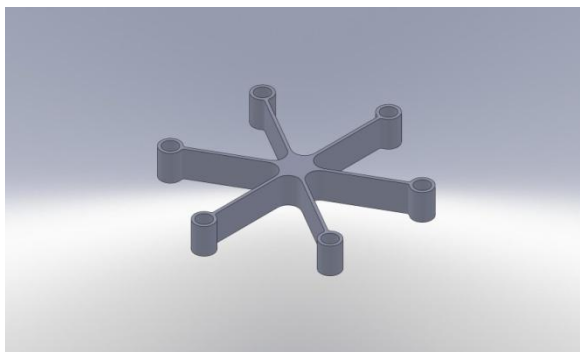
- lämpötilan aiheuttamat muodonmuutokset
- lämpötilan aiheuttamat halkeamat ja repeämät

- se, ettei terillä ole määrättyä paikkaa telineessä, jolloin robotti ei sovellu panostukseen
- se, että telineissä pitää käyttää rautalankakiinnitystä, jonka automatisointi on hankalaa

Telineen ulkomittojen pitää säilyä samoina, koska ne on suunniteltu juuri uuneihin mahtuviksi. Retorttiuuni on läpimitaltaan 830 mm ja telineen ulkohalkaisija on 770 mm. Materiaalina pitää käyttää tulenkestävää terästä, jotta telineet kestävät lämpötilojen suurta vaihtelua.

Robotin olisi ollut helpompi käsitellä teriä pelkästään vaaka-asennossa, joten mietimme, voisiko teline olla panostusvaiheessa myös vaaka-tasossa. Tämä idea kuitenkin hylättiin nopeasti, koska telineen rakenne ei kestäisi kääntelyä, ja se vaatisi monimutkaisen pyörityspöydän, mikä taas tietäisi lisäkuluja.

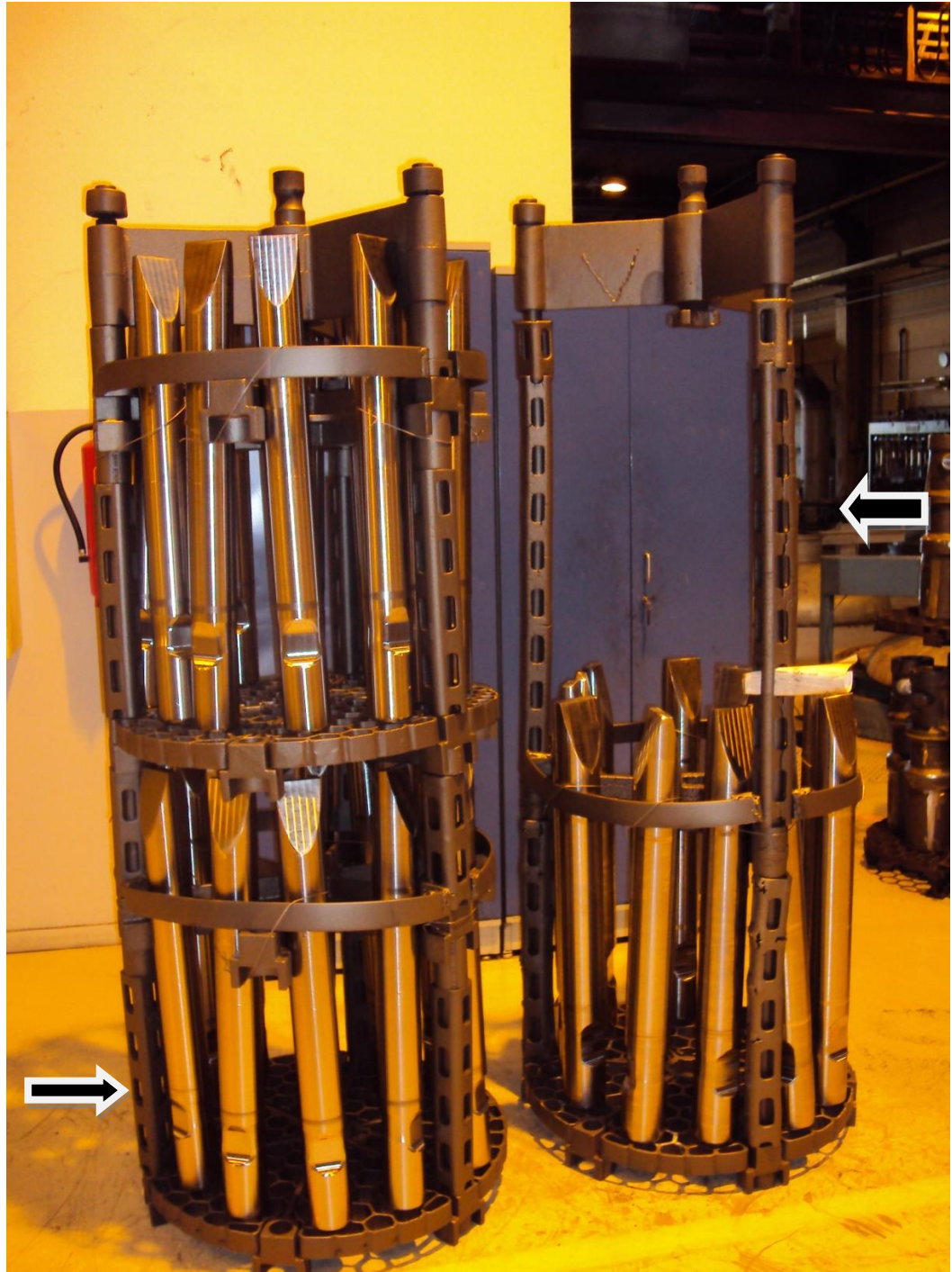
Ensimmäisessä versiossa uudesta panostelineestä käytettiin kuusisakaraista välisosaa terien paikoittamiseen. Tällä terät jaettiin lohkoihin, jolloin ne olisivat pysyneet paikallaan. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan olisi toiminut kaikissa terämalleissa, koska sakarat vievät teriltä tilaa ja siten panoskoot olisivat pienentyneet.



KUVIO 13. Kuusisakarainen väliosa.

Tässä ratkaisussa telineiden muunneltavuus olisi ollut huono ja niihin olisi myös pitänyt lisätä panostuksen jälkeen terät paikoillaan pitävä vanne. Vanteen asennus

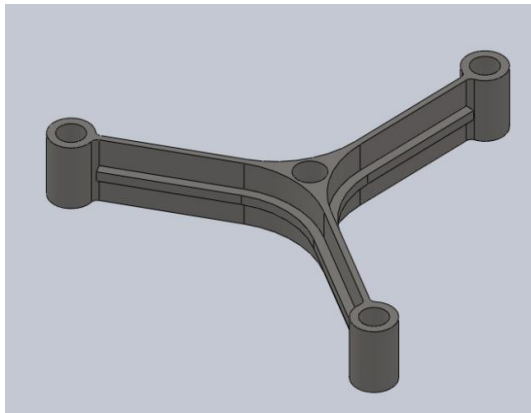
robotilla olisi ollut vaikeaa, koska vannetta ei olisi voinut käsitellä magneetilla. Tämä johtuu siitä, että telineiden materiaali on tulenkestävää terästä, joka ei magnetisoidu.



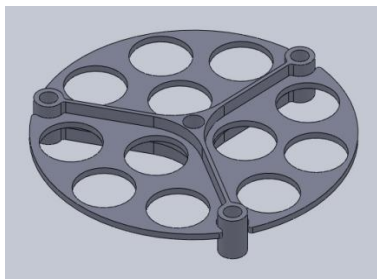
KUVIO 14. Teriä panostelineissä. Nuolilla osoitettu eripituisia korotuspaloja.

Toisessa versiossa terien paikoittamiseen käytetään kuusisakaraisen sijasta kolmisakaraisista osaa (KUVIO 15) ja lisäksi reikälevyjä (KUVIO 16), jotka määräävät terän paikan. Levyjä on erilaisia erikokoisten terien vuoksi ja ne ovat helposti vaihdettavissa nostamalla.

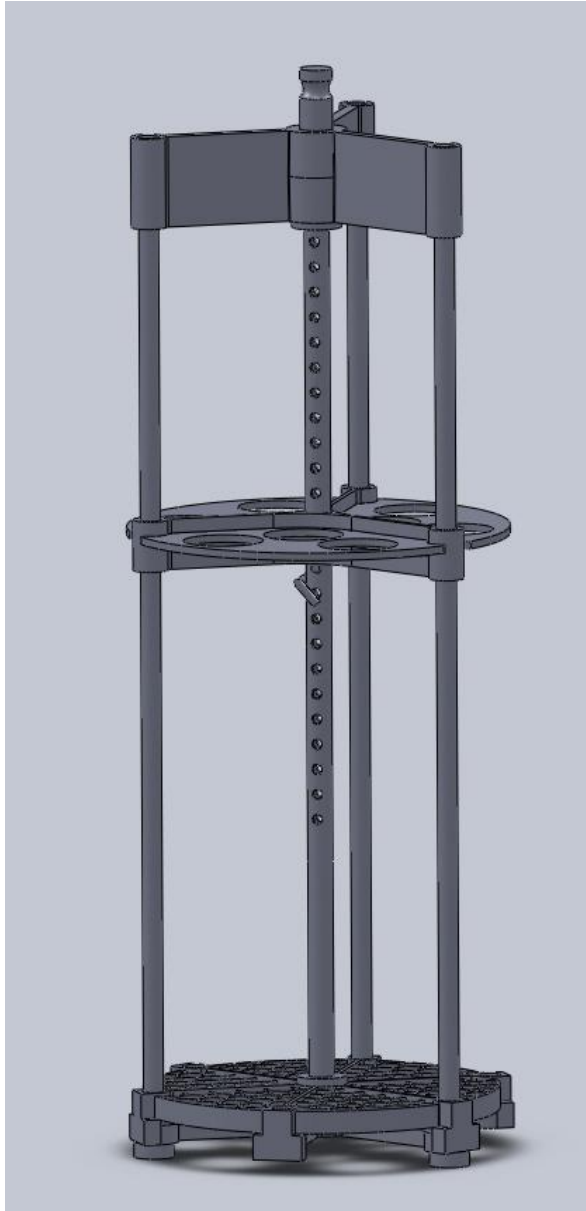
Terien pituuksien vaihdellessa, täytyy välitason paikkaa säädellä pystysuunnassa. Alkuperäisessä telineessä korkeudensäätö oli hoidettu korotuspalojen avulla (KUVIO 14). Korotuspalojen vaihtamiseksi telinettä joudutaan purkamaan, jos sitä halutaan käyttää toisissa terämalleissa, mikä vie aikaa. Tämän vuoksi päädyimme lisäämään telineeseen reiällisen keskitangon, johon keskitaso lukitaan sokan avulla (KUVIO 17).



KUVIO 15. Kolmisakarainen tuki reikälevyille.



KUVIO 16. Reikälevyt paikoillaan.



KUVIO 17. Telinekoonpano. Välitason korkeutta säädetään sokalla.

4.4 Pyörityspöydät

Telineiden paikoittamiseen ja niissä olevien terien saattamiseen robotin ulottuvuusalueella tarvitaan pyörityspöytä. Pyörityspöydälle määrittelimme seuraavat kriteerit:

- 2000 kg:n kantavuus
- ohjaus robotin keskusyksiköllä
- 3 eri asentoa 120 asteen välein

- 5 asteen tarkkuus
- riittävän suuri halkaisija, jotta teline mahtuu siihen
- halpa hinta
- telineen kiinnitys

Robottivalmistajilla oli käyttötarkoitukseen soveltuvia pyörityspöytiä, mutta ne oli suunniteltu vaativimpiin kohteisiin, ja siten hinta muodostui liian suureksi. Emme myöskään itse suunnitelleet pöytiä toimeksiantajan toivomuksesta.

Teimme pöydistä tarjouspyynnöt noin kymmenelle eri kappaleenkäsittelyn ja automaation parissa työskentelevälle yritykselle yllä mainittujen kriteerien perusteella. Tarjouksissa oli suuria eroja keskenään niin rakenteen kuin hinnankin osalta. Osa pöydistä oli mekaanisesti toimivia, jolloin robotti hoitaisi pyörityksen, ja osa taas omalla voimansiirrolla varustettuja. Tarjouksessa, johon päädyimme, hinta oli noin puolet robottitoimittajien pöydistä, ja se täytti valitut kriteerit.

4.5 Tarrain

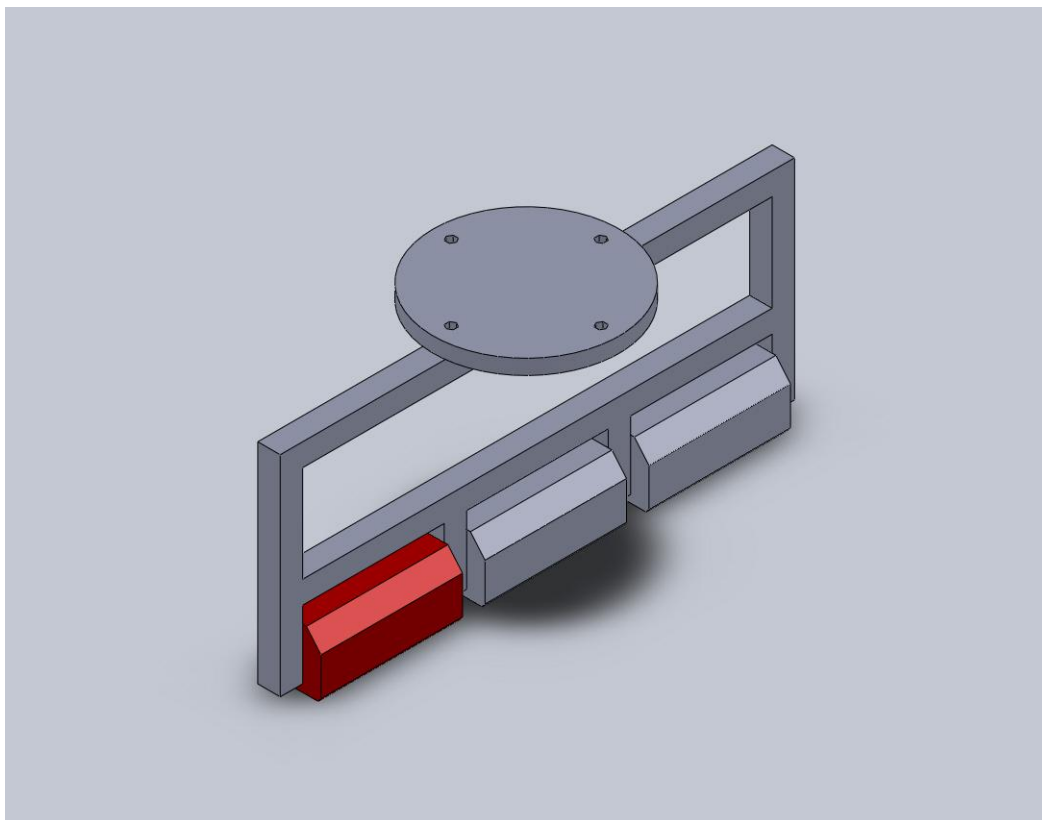
Tarraimen suunnittelu oli työn onnistumisen kannalta merkittävässä asemassa. Magneettitarrain oli ensimmäinen idea, koska robotilla käsiteltävät kappaleet ovat sylinterimäisiä ja terästä. Tarttuvia ei voi olla liian leveä, jotta terämalleista mahdollisimman moni voitaisiin laittaa telineisiin robotilla.

Yksi ongelma tarttujaa mietittäessä oli se, että joissakin terissä halkaisija ei pysynyt samansuuruisena kappaleen koko matkalla. Tämän takia tarttuvia ei voisi olla suora magneetti, koska silloin se ei pysyisi terässä johtuen tarttumapinnan pienudesta.

Robottitoimittajat eivät olleet käyttäneet magneettitarttujaa työssä, jossa kappaleet pitäisi kääntää vaakatasosta pystyyn. Mietimme, että tarttujassa oli 500 kg:n magneetti sekä sormitarttuvia, joka pitäisi kappaleen paikallaan pystyyn käännettäessä. Ongelmaksi muodostui tarttujan liian suuri leveys, jolloin pienemmän kokoluokan teriä ei voitaisi sillä panostaa.

Toisena vaihtoehtona oli kaksi eri tarrainta, yksi pienille ja toinen isoille terille. Isoja teriä käsittelevässä tarraimessa olisi ollut 2 kpl 500 kg:n kantokyvyllä varustettua magneettia, ja pienessä magneettien kantokyky olisi ollut 250 kg. Ratkaisu hylättiin, koska se olisi vaatinut tarrainvaihtajan. Tämä taas olisi vaikuttanut hintaan oleellisesti.

Lopulta päädyimme magneettitarraimen, jossa olisi kolme 250 kg:n kantokyvyn omaavaa magneettia (KUVIO 18). Näistä yksi olisi jousitettu, jolloin sillä voitaisiin käsitellä myös levennettyjä teriä. Näissä terissä jousitettu magneetti olisi levennyksen kohdalla, jolloin kaikki magneetit saisivat tarttumapinnan käsiteltävään kappaleeseen. Kaikkia magneetteja ei voitaisi jousittaa, koska silloin tarttuja ei olisi riittävän tukeva. Koska 250 kg:n magneetin leveys on vain 79 mm, sillä voitaisiin käsitellä teriä 17 – 220 kg:n välillä.



KUVIO 18. Magneettitarttuja, jossa 3 kpl 250 kg:n magneetteja. Tummennettu magneetti on jousitettu.

Optimaalisen tarttujaratkaisun suunnittelun jälkeen testasimme pysyykö kappale magneeteissa kiinni pystyyn käännettäessä. Tätä varten rakensimme tarttujaa vastaavan telineen (KUVIO 19), johon asensimme kestmagneetit kiinni. Tällä testilaitteistolla pystyimme kokeilemaan, miten kappale tulisi käyttäytymään tarttujaussa. Testikappaleena käytimme 221 kg:n talttaterää. Testillä pystyimme osoittamaan, että terä pysyi hyvin kiinni myös pystyyn käännettäessä (KUVIO 20). Testin tulokset ovat liitteessä 7.



KUVIO 19. Tarraimen testausta



KUVIO 20. Tarraimen testausta, terä pystyssä

Mahdollisten sähkökatkosten takia päätimme, että käytettävät magneetit olisivat kestopagneetteja. Tällöin kappale ei putoaisi sähkökatkon sattuessa ja aiheuttaisi vaaratilanteita. Magneettien ohjaus suoritettaisiin kiertosylinterillä robotin I/O:n kautta.

4.6 Solun simulointi

Simuloimme solumme Enterprise Dynamics – ohjelmalla. Simuloinnin avulla pystyimme selvittämään tarvittavat lavapaikat sekä pyörityspöytien lukumäärän. Simuloinnin seurauksena teimme myös alustavan toimintakaavion (LIITE 1).

TAULUKKO 1. Teräkokojen mukaan lasketut tahtiajat. Maalausaikojen vaihtelut johtuvat terien lämpötilan muutoksista.

Terän koko	Isot	Keskikokoiset	Pienet
Maalaus /panos	10-30min	10-30min	10-30min
Lämpökäsittely +kuulapuhallus /panos	120min	120min	120min
Panostusvaihe /kpl	42s	33,5s	26s
Purku ja siirto maalaukseen /kpl	25,5s	19,25s	17,5s
Valmiiden terien siirto kuormalavoille /kpl	10s	7,5s	6s

TAULUKKO 2. Simuloinnin tulokset.

Valmiit panokset / vrk	12 kpl
Valmiit terät / vrk	n.200 kpl
Robotin käyttöaste / vrk	20 %
Tarvittavat lavapaikat	3 kpl
Tarvittavat pyörityspöydät	2 kpl

4.6 Terien robottipaikannus

Robotin täytyy ottaa terät pyramidin muotoisista pinoista (KUVIO 12), sekä purkaa ja panostaa ne telineisiin. Telineissä terien paikat eivät pysy samoina lämpökäsittelyn takia, jonka takia robotissa täytyy olla terien paikkannusjärjestelmä.

Loogisimpana vaihtoehtona paikannukselle oli konenäkö. Konenäöllä kappaleiden tunnistus pyramidista on helppoa ja nopeaa, ja sillä pystyy myös tarkastamaan telineistä oikeat paikat. Ongelmaksi konenäön käytössä kuitenkin muodostui se, että se vaatii hyvän ja muuttumattoman valaistuksen, joka olisi ollut hankala toteuttaa tuotannossa.

Koska konenäköä ei voitu käyttää, päädyimme ultraäänianturiin. Tämän mahdollisti se, että käsiteltävät terät sekä teline ovat terästä, joten ääni heijastuu siitä hyvin takaisin. Ultraäänen etuna on myös se, että siihen eivät vaikuta valaistus eivätkä mahdolliset epäpuhtaudet kappaleen pinnassa. Ultraääniantureiden pieni koko on helpottaa niiden sijoittamista tarraimen.

4.7 Robotin hankinta

Robottitoimittajat osoittivat suurta mielenkiintoa tälle uudentyyppiselle robottisovellukselle, jolla oli hyvät mahdollisuudet toteutua. Seuraavat asiat vaikuttivat robotin hankintaan ja toimittajan valintaan:

- käsiteltävät kappaleet
- **robotin koko ja malli**
- robotin ulottuvuus ja massat
- robottitarraimet ja työkalut
- **ohjelmointi ja uudelleen ohjelmoitavuus**
- henkilökunnan koulutus
- solun layout
- anturit
- solun työturvallisuus
- **hankintahinta.**

Robotin tyypiksi päätettiin heti alkuvaiheessa kuusiakselinen nivelvarsirobotti, koska muilla malleilla ei kyseistä työtä voisi toteuttaa. Tarttujaksi oli jo aikaisemmin valittu magneettitarttuja, joten myös sen paino piti ottaa huomioon robotin kokoa mietittäessä. Tarraimen paino tulee arvioidemme mukaan olemaan noin 40 - 50 kg. Tämä vie robotin kantokykyä, jotka katsomissamme malleissa vaihtelivat noin 50 – 650 kg:n välillä.

Robottia valittaessa tärkeimmäksi kriteeriksi muodostui, että se pystyisi käsittelemään mahdollisimman suuren osan kappaleista. Taulukossa 3 on esitelty robotin hyötykuorman vaikutusta käsiteltävien kappaleiden osuuteen kokonaistuotannosta. Hyötykuormalla tarkoitetaan tässä robotin todellista kantokykyä, eli robotin nimellisestä kantokyvystä on poistettu tarraimen massa (40–50 kg). Hinta-ero siirryttäessä pienemmästä mallista suurempaan vaihtelee eri valmistajien välillä. Valitsemallamme robottitoimittajalla hinta-ero oli melko pieni. Tämän takia pystyimme valitsemaan robotin, jonka hyötykuorma oli 500 kg ja näin ollen se

pystyisi käsittelemään kaikenkokoisia kappaleita. Näin ollen käsiteltävien kappaleiden määrää rajoittaa vain tarttuja.

TAULUKKO 3. Hyötykuorman vaikutus käsiteltävien kappaleiden osuuteen kokonaistuotannosta sekä solun hintaan.

Hyötykuorma (kg)	Käsiteltävien kappaleiden osuus kokonaistuotannosta (%)	Solun hinta (€)
30	45,0 %	99000
50	50,5 %	99000
115	76,9 %	119000
150	88,0 %	129000
230	93,8 %	129000
250	97,7 %	129000
300	97,7 %	129000
350	97,7 %	149000
450	100,0 %	149000
550	100,0 %	149000

Investointilaskelmaan tarvitsimme luonnollisesti tarjoukset robottitoimittajilta. Neljä yritystä jätti lopullisen ehdotuksen. Taulukossa 4 on eri toimittajien tarjoukset sekä osa niiden sisältöä. Tarjoukset eivät kaikilta osin ole vertailukelpoisia mutta kaikkiin niihin sisältyy vähintään robotti jalustoineen, magneettitarttuja, asianmukainen turvajärjestelmä, käyttöönotto sekä koulutus. Robotin valinta oli loppujen lopuksi helppo tehdä vaihtoehtojemme väliltä. Tarjouksia tutkittaessa on huomioitava, että Yritys D:n tarjouksessa on mukana terien tarroitus- ja pakkausjärjestelmä.

TAULUKKO 4. Yritysten tarjousten listaus.

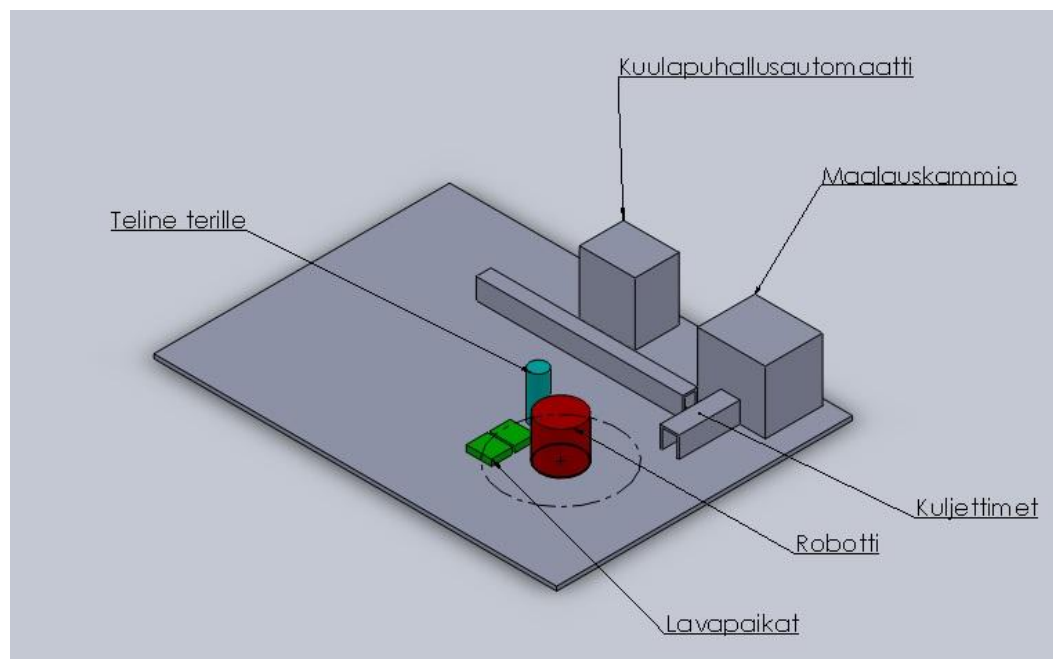
	Yritys A	Yritys B	Yritys C	Yritys D
Robotin koko (kg)	350	500	400	500
Hinta (€)	171 000	129 000	133 240	368 000

4.8 Layout

Layoutin ideointi alkoi tehtaan pohjapiirustuksiin tutustumalla, josta näimme todellisen tilan, sekä eri elementtien mitat ja paikat (uunit, kuulapuhallusautomaatti ja maalauskoppi). Oleellisia asioita layoutin sisällössä solun toiminnan kannalta ovat:

- pyörityspöytä/pöydät panostelineiden pyörittämiseen (robotin työalue estäisi muuten panostelineiden täytön toiselta puolelta)
- lavapaikat terille (vähintään yksi lähteville ja yksi saapuville)
- riittävä tila mahdollisille optioille.

Tältä pohjalta loimme ensimmäisen version layout-suunnitelmasta (KUVIO 21).



KUVIO 21. Ensimmäinen layout.

Robotin valinnan jälkeen saimme tietoomme robotin todellisen työalueen. Tämän jälkeen piti vielä miettiä työkiertoa, ja sijoittaa kaikki elementit optimaalisesti sen

mukaan. Teimme myös suunnitelmat optioiden varalle (robotilla maalaus, kuulapuhallus ja terien pakkaus). Lopulliset eri layout-versiot löytyvät liitteistä 2-5.

5 YHTEENVETO

Kun kaikki työmme osa-alueet oli käsitelty, oli aika tehdä investointilaskelmat robottisolulle. Yritys tulisi käsittelemään laskelmiemme pohjalta tehtävän investointihakemuksen alkuvuoden 2011 aikana. Jos hakemus todettaisiin riittävän hyödylliseksi ja kannattavaksi, tultaisiin robottisolu hankkimaan vuoden 2011 aikana.

Laskelmiemme mukaan investointi tulisi maksamaan itsensä takaisin noin 2,3 vuodessa (LIITE 8). Tämä aika on investoinneissa kohtuullisena pidettyä takaisinmaksuaikaa (3 vuotta) selvästi alhaisempi, joten robottisolu olisi mielestämme hyvä hankinta.

Rahallisten säästöjen lisäksi investoinnilla olisi myös suuri työterveydellinen vaikutus. Suurien kappaleiden käsittelyssä manuaalisesti on aina suuret riskit ja vaikka vakavilta loukkaantumisilta on tähän mennessä säästyty, olisi todennäköistä että jossain vaiheessa työntekijä loukkaa itsensä.

Toinen tekijä, jota ei suoranaisesti voi rahassa laskea, on yrityksen imagokysymys. Modernissa teollisuudessa robotilla on tapana hoitaa yksinkertaiset kappaleenkäsittelyyn liittyvät työtehtävät, jolloin ihmiseltä säästyy aikaa ja voimavaroja vaativampiin tehtäviin. Asiakkaiden silmissä yrityksen imago paranee, kun heille kerrotaan, että yritys käyttää robotteja valmistaessaan tuotteitaan.

Investointilaskelmien ohella suurin yksittäinen saavutuksemme työtä tehdessä oli uusi panostelinemalli. Uudessa telineessä otimme huomioon helpon muunneltavuuden sekä automaatiota suosivan rakenteen. Onnistuimme telinesuunnittelussa erittäin hyvin ja suunnitelmistamme on suurta hyötyä yritykselle. Uusi telinemalli on tulossa testaukseen nopealla aikataululla.

Ilman osaavaa apua ja koulutusta emme olisi työtämme saaneet tehtyä kunnialla. Haluammekin kiittää yrityksen henkilökuntaa ja erityisesti Sakari Kokkosta ja Kai

Lehtoa korvaamattomasta avusta. Suuri kiitos kuuluu myös robottitoimittajien edustajille Aarno Luukkoselle ja Kimmo Kymäläiselle sekä työmme ohjaajalle Olli Kaikkoselle. Henri Koukkaa kiitämme hänen avustaan robottisolun simuloinnissa.

5.1 Kehitysmahdollisuudet

Tekemässämme layoutissa on otettu huomioon, että robottisoluun voidaan tarvittaessa lisätä optioita. Tämän mahdollistaa robotin käyttöaste, joka olisi simulointimme perusteella n. 20 %:n luokkaa. Optio vaihtoehtoiksi tuli terien pakkausautomaatti sekä kuulapuhallusautomaatti. Myös maalausautomaattia harkittiin, mutta päädyimme lopulta ratkaisuun, jossa robotti käsittelisi maalaussuutinta, jolloin erillistä maalausautomaattia ei tarvittaisi. Tämä vaatisi liuotinpohjaisen maalin vaihtamista vesiohenteiseksi maaliksi, koska katsomiemme robottien IP-luokitus oli liian alhainen liuotinpohjaiselle maalille. Testasimme (LIITE 6) vesiohenteisen maalin käyttäytymisestä terän pinnalla, ja syksyllä 2010 saimme kuulla, että terien maalauksessa tullaan siirtymään vesiohenteiseen maaliin.

Pakkausautomaatteihin kävimme tutustumassa PacTec -messuilla Helsingin Messukeskuksessa syyskuussa 2010. Kyselimme hieman laitteiden ominaisuuksista ja hintatasosta. Järkevimmäksi vaihtoehdoksi nousi malli, joka pakkaisi terät yksittäispakkauksiin. Myös lavojen paketointi olisi mahdollista mutta hintataso nousisi tällöin oleellisesti. Näin ollen investointilaskelmassa on käytetty yksittäispaketointiin tarkoitettua pakkausautomaattia.

LÄHTEET

ABB Robotics. 2010 [viitattu 12.10.2010]. saatavissa:

<http://www.abb.fi/product/seitp327/5356453900282C5CC1256EFC0028D55D.aspx>

Aalto, H. Heilala, J. Hirvelä, T. Kuivanen, R. Laitinen, M. Lehtinen, H. Lempiäinen, J. Lylynoja, A. Renfors, J. Selin, K. Siintoharju, T. Temmes, J. Tuovila, T. Veikkolainen, M. Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa: TalentumOyj/MetalliTekniikka.

Aaltonen, K. Airila, M. Andersin, H. Ekman, K. Kauppinen, V. Liukko, T. & Pohjala, P. 1992. Tuotantoautomaatio. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Fonselius, J. Pekkola, K. Selosmaa, S. Ström, M. Välimaa, T. 1996. Koneautomaatio: Automaatiolaitteet. Helsinki: Oy Edita Ab.

Hämäläinen, M 2010. Agco automatisoi Linnavuoren putkiverstaan. Metalliteknikka 2/2010, 26.

Hänninen, V. 2001. Konenäön elementit: Komponentteja vai paketteja. Prosessori 8/2001, 36.

Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Koneautomaatio. 2, Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY.

Kettunen, A. 2004. Anturitekniikan Perusteet. [Viitattu 27.10.2010]. Saatavissa: http://reppu.lamk.fi/file.php/2642/Ohjaussuunnittelun_perusteet/Anturitekniikan_perusteet.pdf.

Kinerobot. 2010[viitattu 15.10.2010]. saatavissa: http://kinerobot.fi/wp-content/uploads/2010/06/fiiliskuvat_pysty_laserhitsausrobotti.png

Kivivuori, S. Härkönen, S. 2004. Lämpökäsittelyoppi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Koivisto, K. Laitinen, E. Niinimäki, M. Tiainen, T. Tiilikka, P. Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan Materiaalioppi. 12. Uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Motoman Robotics. 2010 [viitattu 15.10.2010]. saatavissa:

[http://www.motoman.fi/index.php?id=129&no_cache=1&L=4&tx_catalogrobot_pi1\[uid\]=528](http://www.motoman.fi/index.php?id=129&no_cache=1&L=4&tx_catalogrobot_pi1[uid]=528)

Omron Absoluuttianturit. 2010. [Viitattu 27.10.2010]. Saatavissa:

http://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/sensing/rotary_encoders/absolute/e6c3_a/default.html.

Pitkälä, M. 2008. Robotiikka. [Viitattu 19.1.2011]. Saatavissa:

http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/Robotiikka_yleinen.pdf

Sick Ultrasonic Sensors. 2010. [Viitattu 27.10.2010]. Saatavissa:

<https://www.mysick.com/saqqara/wrapper.aspx?id=im0012926>.

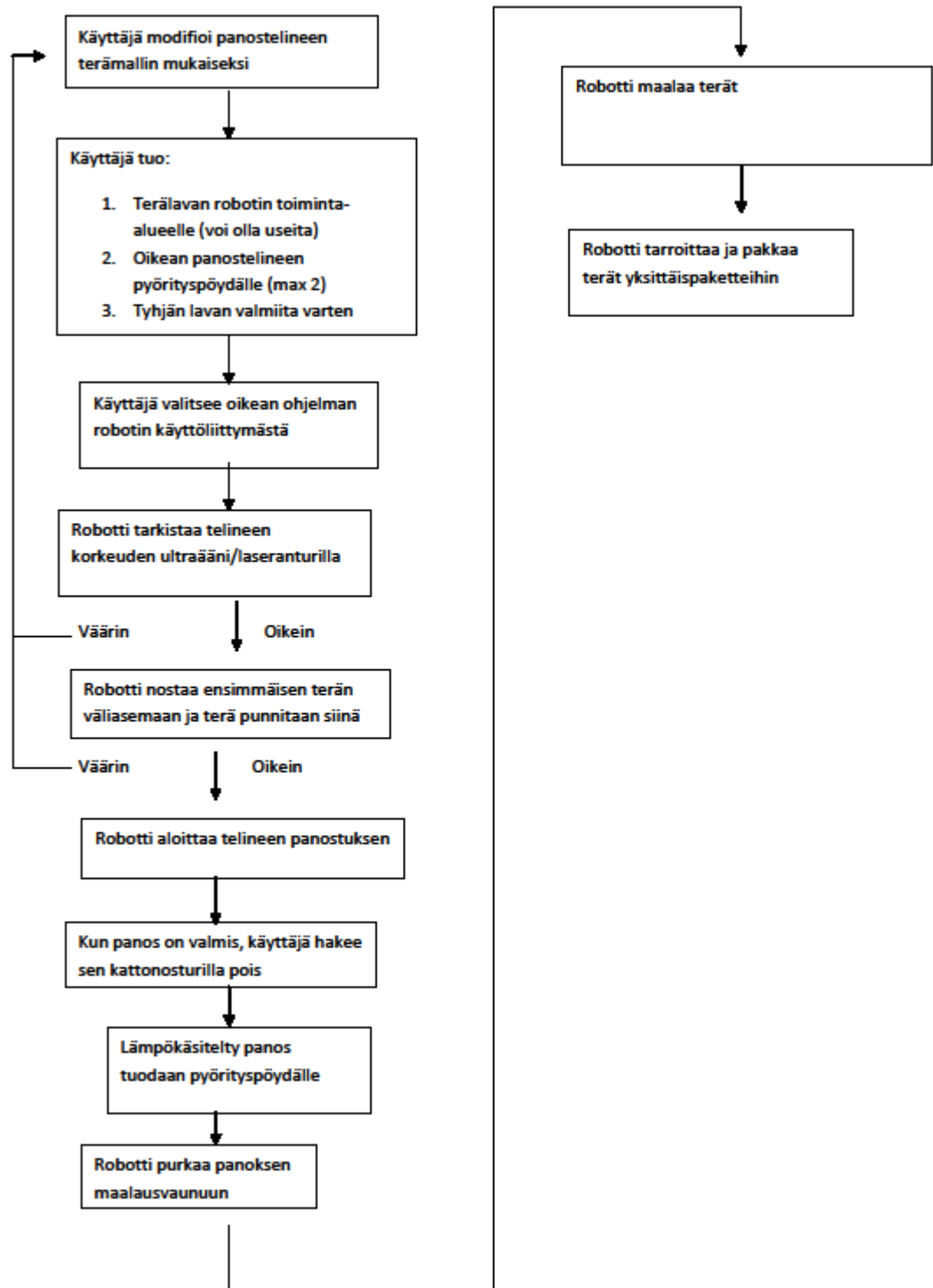
Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos. 2005. Rauta – Monipuolinen metalli. [Viitattu 4.12.2010]. Saatavissa:

http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_1.php.

Teknoliigateollisuus Ry. 2009. Teräskirja. 8. Painos. Helsinki: Metallinjalostajat Ry.

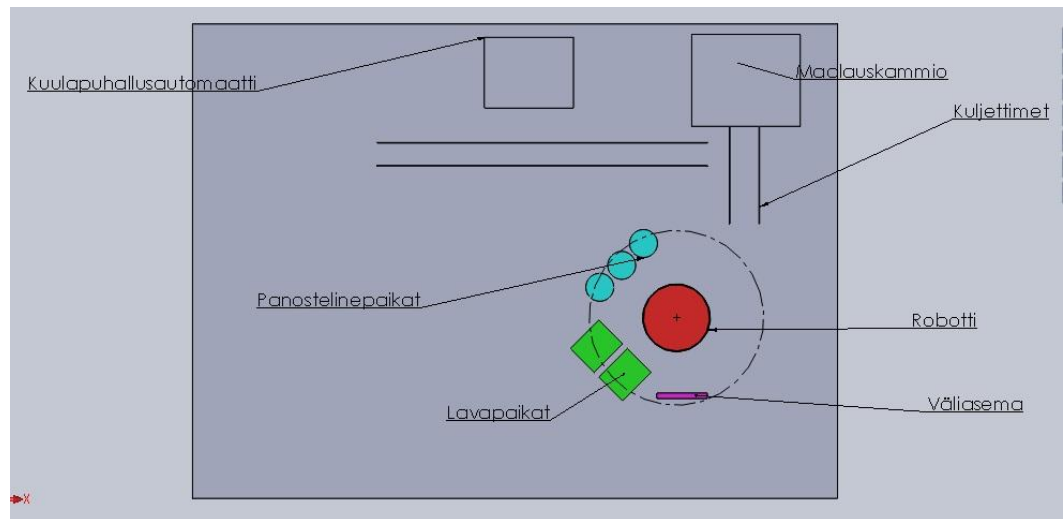
LIITTEET

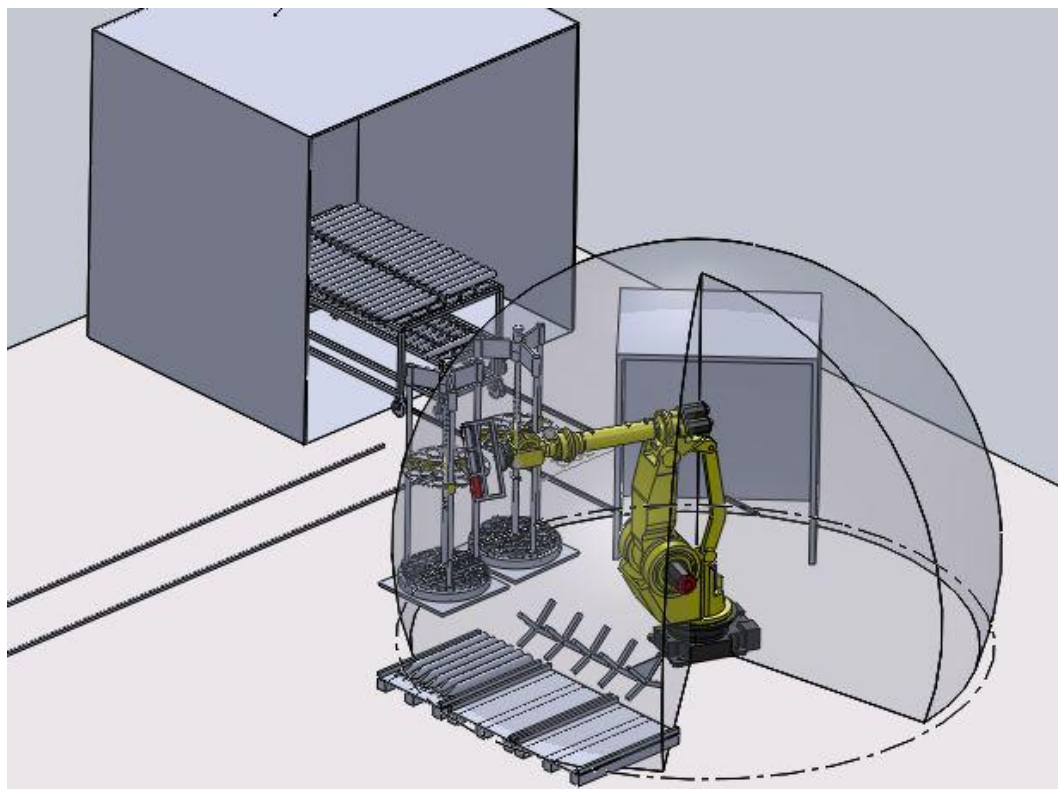
LIITE 1	Toimintakaavio
LIITE 2	Layout 1
LIITE 3	Layout 2
LIITE 4	Layout 3
LIITE 5	Layout 4
LIITE 6	Kestotesti: Terien maalaus
LIITE 7	Tarraimen testauspöytäkirja 20.9.2010
LIITE 8	Investointilaskelma

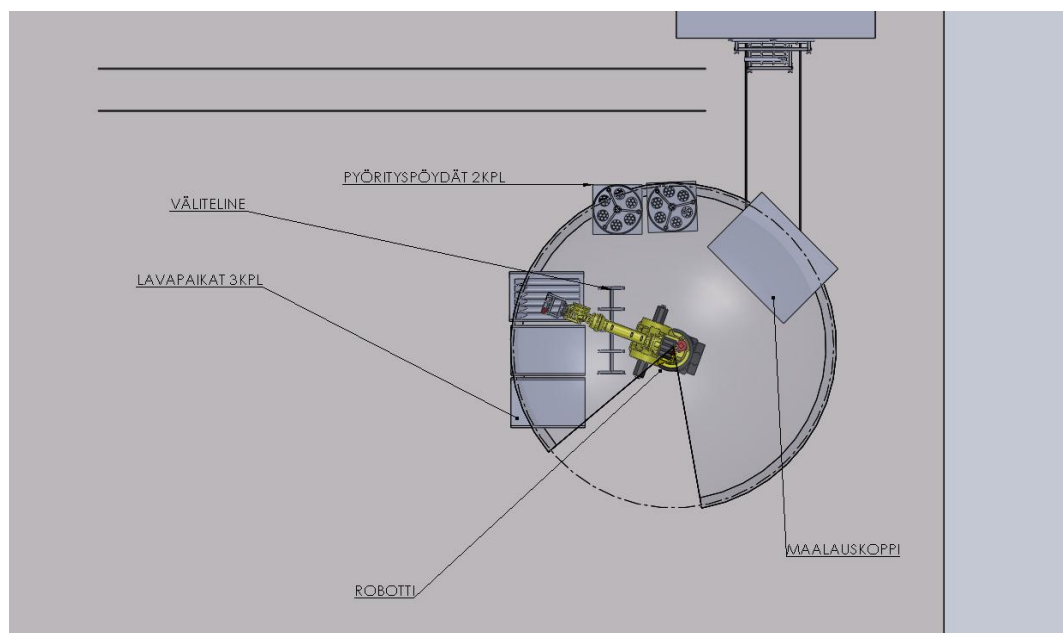


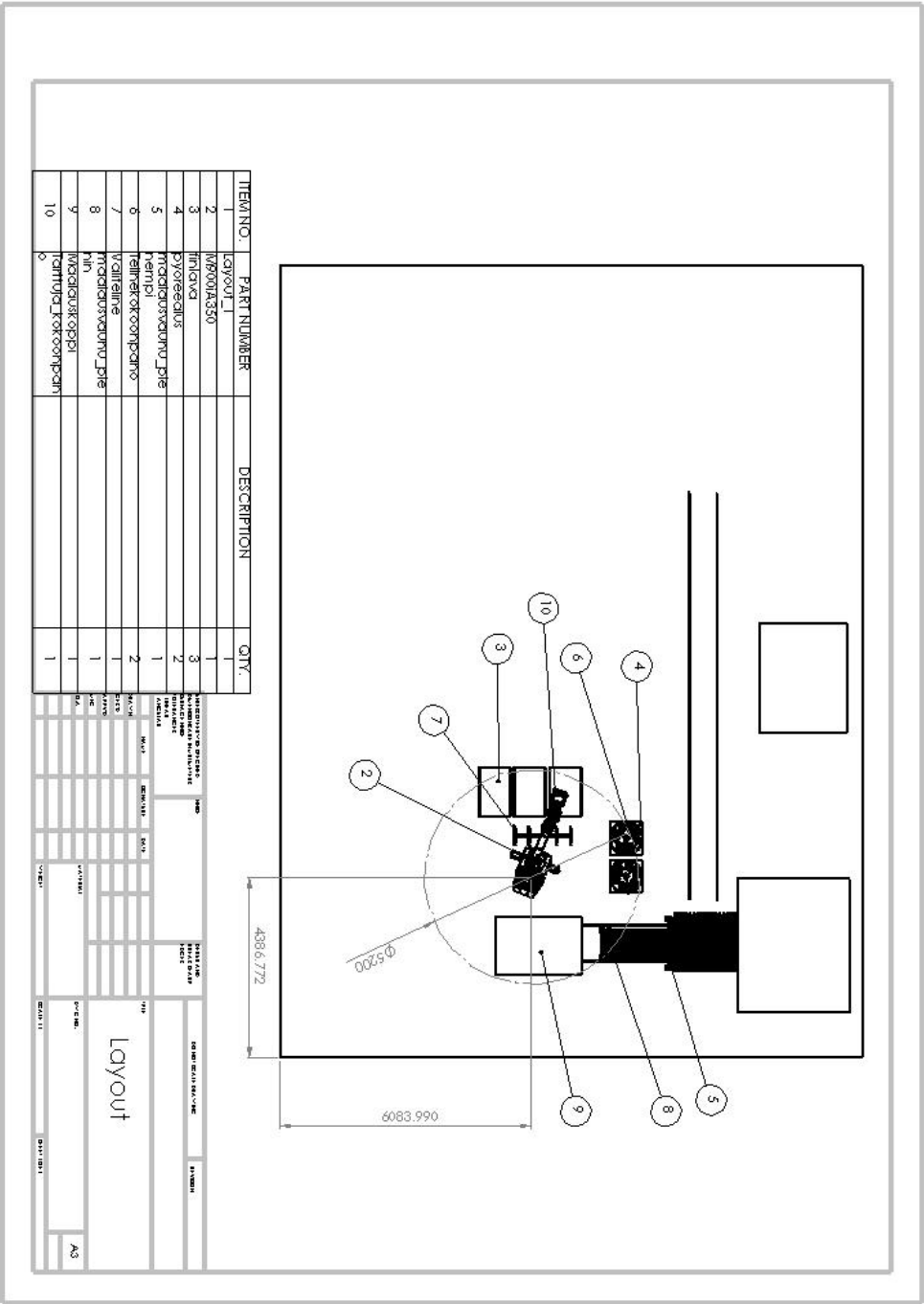
LIITE 2

Layout 1









Tavoitteena vertailla liuotinpohjaisen ja vesiohenteisen maalin käyttäytymistä terän pinnalla korroosiota aiheuttavissa olosuhteissa SMC:n tehtaan takapihalla.

Koekappaleina kaksi S25- kartioterää.

Maalikerrosten paksuudet:

Liuotinpohjainen: 15,2 µm

Vesiohenteinen: 25,1 µm

Testi alkoi 20.9.2010 klo 12.

Ensimmäinen tarkastuskäynti 23.9.2010: Ruostetta molempien terien pinnoilla

Toinen tarkastuskäynti 27.9.2010: Ruosteen määrä ei näkyvästi enää lisääntynyt



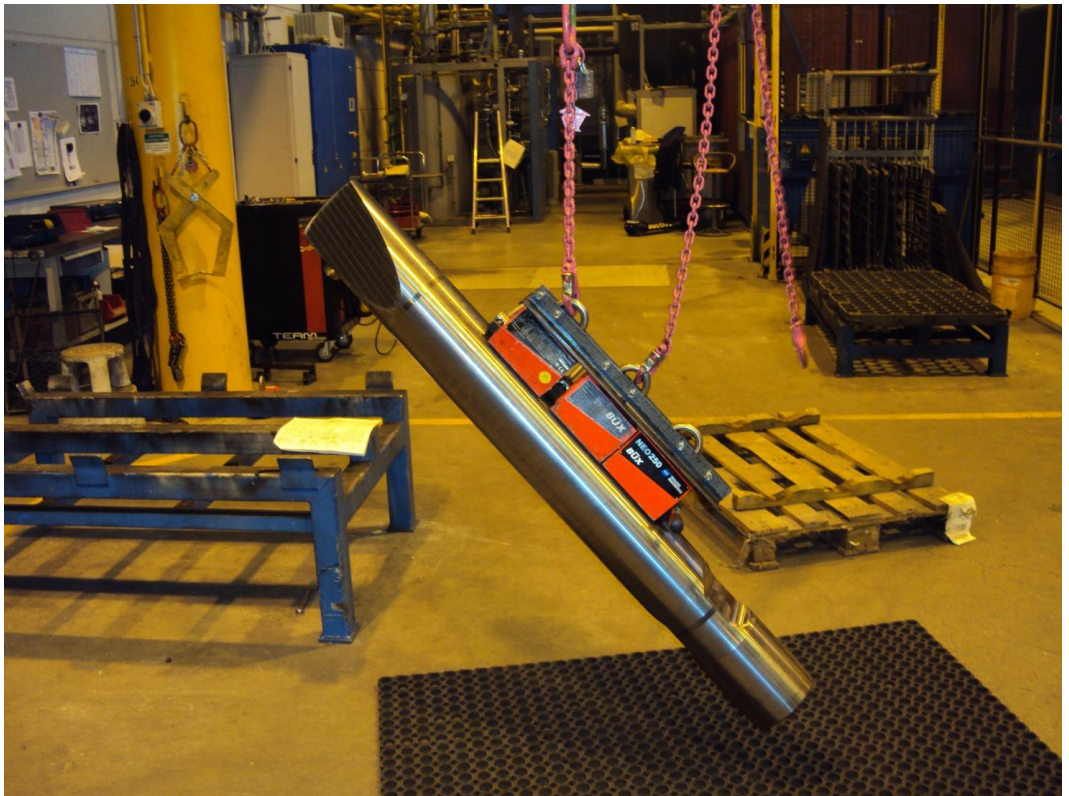
Magneettitarttuja terien nostossa vaakatasosta pystytasoon

Koekappaleena 160mm halkaisijaltaan oleva talttaterä, jonka paino on noin 221kg. Toisena koekappaleena oli 160mm halkaisijaltaan oleva kevennetty talttaterä (paino n. 221kg).

Testin tarkoituksena on tarkastella miten kappale käyttäytyy vaakatasosta pystyyn käännettäessä.

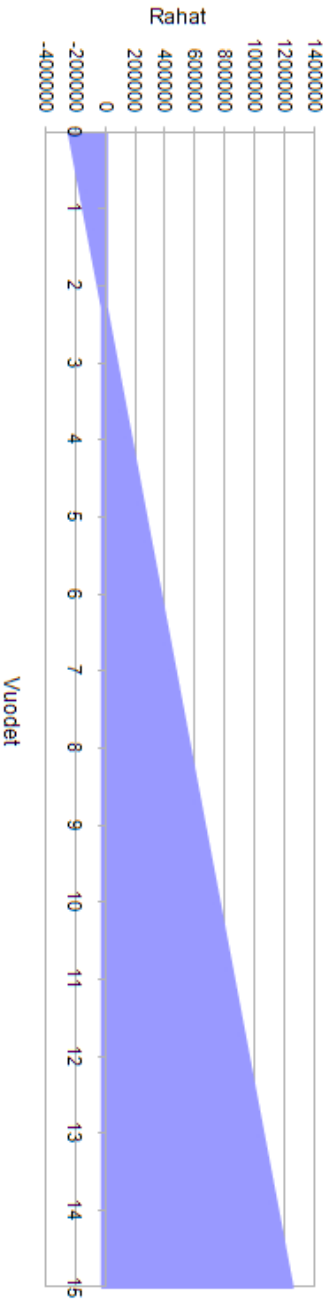
Testin tulokset:

3x250kg magneetti: Pysyy liukumatta



Vuodet	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Kustannukset	223500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Säästöt	0	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000	100000
Kassavirta	-223500	97500	97500	97500	97500	97500	97500	97500	97500
Kumulatiivinen kassavirta	-223500	-126000	-28500	69000	166500	264000	361500	459000	556500

Kassavirta



Takaisimaksuaika

2,285 vuotta

Aloitus kustannukset

Robottisolu	129000	Motoman
Pyörityspöydät	14500	Metawell Oy
Pakkaus	50000	Motoman
Maalaus	20000	Nestori
Maalauskoppi + teline	10000	Sandvik
Yhteensä	223500	

Vuosittaiset kustannukset

Huolto	2500
Yhteensä	2500

Saatavat säästöt / vuosi

Karkaisimo	50000	(yksi henkilötyövuosi)
Pakkaamo	50000	(yksi henkilötyövuosi)
Yhteensä	100000	